

ISSN-2448-7236

**MEMORIAS DEL CONGRESO CIENTÍFICO
TECNOLÓGICO DE LAS CARRERAS DE
INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, INDUSTRIAL
Y TELECOMUNICACIONES, SISTEMAS Y
ELECTRÓNICA**

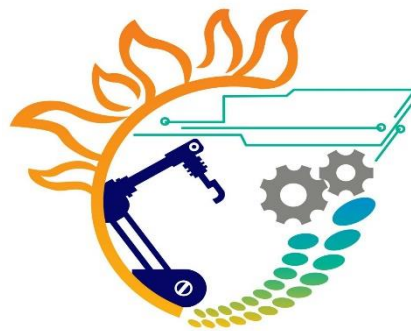
AÑO 8. No. 8. SEPTIEMBRE 2023 – AGOSTO 2024

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN EN ENERGÍAS RENOVABLES
DEPARTAMENTOS DE FÍSICA, MATEMÁTICAS E INGENIERÍA**



**Memorias del Congreso
Científico Tecnológico de las carreras de
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Industrial y
Telecomunicaciones, sistemas y electrónica**

AÑO 8. No. 8. SEPTIEMBRE 2023 – AGOSTO 2024



Memorias del Congreso Científico Tecnológico de las carreras de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Industrial y Telecomunicaciones, sistemas y electrónica

DIRECTORIO

UNAM

Dr. Leonardo Lomelí Vanegas
Rector

Dra. Patricia Dávila Aranda
Secretaria General

Dr. Hugo Alejandro Concha Cantú
Abogado General

FESC

Dr. David Quintanar Guerrero
Director

Dr. Benjamín Velasco Bejarano
Secretario General

Lic. Jaime Jiménez Cruz
Secretario Administrativo

Memorias del Congreso Científico Tecnológico de las carreras de Ingeniería mecánica eléctrica, Industrial y Telecomunicaciones, sistemas y electrónica, es una publicación electrónica anual, septiembre 2023 – agosto 2024, editada por la Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, Ciudad de México, C.P. 04510, a través de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, carretera Cuautitlán Teoloyucan km. 2.5, Colonia San Sebastián Xhala, Cuautitlán Izcalli, Estado de México, Tel. (55)56231999 ext.: 39446, eventoslier@hotmail.com. Editores responsables: Dr. Victor Hugo Hernández Gómez e Ing. Omar Olvera García. Reserva de Derechos al uso Exclusivo No.: 04-2023-081117441200-102 e ISSN-2448-7236, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de autor. Responsable de la última actualización de este número, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, 4 de septiembre de 2023.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura de los compiladores o editores de la publicación. Se autoriza la reproducción total o parcial de los textos aquí publicados siempre y cuando se cite la fuente completa y la dirección electrónica de la publicación.

D. R. © 2023 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán.
C. P. 04510, México, Distrito Federal.

“Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales”. Hecho en México



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN EN ENERGÍAS RENOVABLES
DEPARTAMENTOS DE FÍSICA, MATEMÁTICAS E INGENIERÍA

PÁGINA 3
DE 21



CONTENIDO

PRESENTACIÓN

HISTORIA DEL CONGRESO

INFORMACIÓN DE LA MEMORIA

ARBITRAJE

ARTÍCULOS

AGRADECIMIENTOS

LEGAL

PRESENTACIÓN

Las Memorias del Congreso Científico Tecnológico de las carreras de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Industrial y Telecomunicaciones, sistemas y electrónica, es un documento de publicación anual, el cual lo integran artículos seleccionados por el Comité Científico Técnico entre los presentados en el Congreso Científico Tecnológico de las carreras de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Industrial y Telecomunicaciones, sistemas y electrónica de la FES Cuautitlán.

El Comité Científico Técnico está integrado por especialistas del área, provenientes de diferentes instituciones de educación superior. Para publicar en las memorias es necesario participar en el Congreso y respetar las fechas establecidas para la entrega de documentos. La versión final del artículo debe contemplar las observaciones realizadas por el Comité Científico Técnico. Como esta publicación está registrada ante el Indautor, es necesario entregar el formato de transferencia de derechos que se proporciona junto con el formato del artículo.

[REGRESAR AL CONTENIDO](#)

HISTORIA DEL CONGRESO

El primer congreso realizado fue del 4 al 8 de septiembre del 2006 y fue organizado por la Coordinación de IME en conjunto con los Departamentos de Física, Matemáticas e Ingeniería, coordinado por el Dr. Víctor Hugo Hernández Gómez. El nombre del evento fue Primer Congreso Científico Tecnológico de la carrera de Ingeniero Mecánico Electricista de la Fes Cuautitlán.

Posteriormente año tras año se ha organizado el evento, conservando ese nombre hasta el año de 2013, ya que se tuvo una actualización de los planes de estudio de la FESC y se incrementaron las carreras de ingeniería, por lo cual se incluyeron en el nombre como Congreso Científico Tecnológico de las carreras de Ingeniería mecánica eléctrica, Industrial y Telecomunicaciones, sistemas y electrónica, el cual a la fecha conserva dicho nombre el evento.

En total se ha realizado el evento en dieciocho ocasiones en los cuales se ha publicado una memoria en donde se incluyen los artículos presentados en el evento. A partir de la quinta memoria y hasta la octava, se contó con el ISBN correspondiente y a partir del 11 congreso la memoria del evento se convirtió en una publicación electrónica denominada Memorias del Congreso Científico Tecnológico de las carreras de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Industrial y Telecomunicaciones, sistemas y electrónica, con el ISSN-2448-7236.

Los artículos, antes de ser presentados en el evento y ser publicados, han pasado por un comité revisor, el cual ha tenido el nombre de Comité Científico Técnico, el cual lo han integran doctores, maestros e ingenieros del área. A los autores se les da una fecha de entrega del extenso, pasa por dicho comité y posteriormente se les envía el dictamen con las observaciones de lo que deben modificar para su aceptación final.

Los artículos deben ser originales y sobre resultados de proyectos de investigación, docencia y desarrollo tecnológico.

Memorias del Congreso Científico Tecnológico de las carreras de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Industrial y Telecomunicaciones, sistemas y electrónica

Los artículos publicados están clasificados dependiendo del área de conocimiento los cuales pueden ser:

FÍSICA

FE	ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO
FM	MECÁNICA
FO	TEORÍA ELECTROMAGNÉTICA, ÓPTICA Y ONDAS
FT	FÍSICA TEÓRICA
EF	ENSEÑANZA DE LA FÍSICA
FA	FÍSICA EN OTRAS ÁREAS DEL CONOCIMIENTO

MATEMÁTICAS

MA	CONTINUAS
MC	CÓMPUTO
MD	DISCRETAS
ME	ESTADÍSTICA
MP	PROBABILIDAD
EM	ENSEÑANZA DE LAS MATEMÁTICAS

[COMITÉ ORGANIZACIONAL](#)

INGENIERÍA

IA	AMBIENTAL
IB	ELÉCTRICA
IC	ELECTRÓNICA
ID	MATERIALES
IE	ENERGÍA
IF	AUTOMATIZACIÓN

[REGRESAR AL CONTENIDO](#)

IG	CALIDAD
IM	FLUIDOS
IP	PRODUCCIÓN
IR	ROBÓTICA
IU	COMUNICACIONES
EI	ENSEÑANZA DE LA INGENIERÍA

OTROS

DE	DISEÑO (EXPERIMENTOS Y PROTOTIPOS)
O	OTROS



COMITÉ ORGANIZACIONAL

ORGANIZADOR Y COORDINADOR DEL EVENTO

Dr. Víctor Hugo Hernández Gómez

COLABORADORES

INGENIERÍA
M En C. Oscar Sánchez Baños
Ing. Omar Olvera García
Ing. Jorge Ramírez Rodríguez

FÍSICA
Dr. Pedro Guzmán Tinajero
Dr. Ramón Osorio Galicia
M. Alberto Cruz Osnaya
Ing. Ángel Rueda Ángeles
Ing. Eduardo Carrizales Ramírez

MATEMÁTICAS
Dr. Jorge Altamira Ibarra
Ing. José Antonio Hernández Soriano
Dr. José Luz Hernández Castillo
M. en Ing. Vicente Vázquez Suárez
Dra. Claudia Cruz Sánchez
Dra. Celina Elena Urrutia Vargas
Dr. José Juan Contreras Espinosa
Dr. Armando Aguilar Márquez

[REGRESAR A HISTORIA](#)

INFORMACIÓN DE LA MEMORIA

[COMPILADORES DE LA MEMORIA](#)

[COMITÉ CIENTÍFICO TÉCNICO](#)

[DIRECTORIO](#)

[REGRESAR AL CONTENIDO](#)

COMPILADORES DE LA MEMORIA

Dr. Víctor Hugo Hernández Gómez

Ing. Omar Olvera García

[REGRESAR A INFORMACIÓN DE LA MEMORIA](#)

COMITÉ CIENTÍFICO TÉCNICO

Dr. Víctor Hugo Hernández Gómez
Dra. Celina Elena Urrutia Vargas
Dr. Germán Fernández García
Dr. David Morillón Gálvez
Dr. Pedro Guzmán Tinajero
Dr. Abraham Méndez Albores
Dra. Alma Guadalupe Vázquez Durán
M En I. Raúl Velasco Muñoz
M En I. Andrés Andrade Vallejo
Dr. Ramón Osorio Galicia
M En I. Jesús García Lira
Ing. Omar Olvera García
M En C. Oscar Sánchez Baños
Dr. José Juan Contreras Espinosa
Dr. Armando Aguilar Márquez
Dr. David Tinoco Varela

[REGRESAR A INFORMACIÓN DE LA MEMORIA](#)

ARBITRAJE

Los artículos enviados para su posible participación en el Congreso y publicación en la publicación electrónica, debe pasar por varias revisiones:

El comité organizador revisa que el artículo cumpla con las características solicitadas en la convocatoria del congreso, como son: que estén dentro de los temas del congreso; que sean resultado de un proyecto de investigación, docencia y desarrollo tecnológico; y que cumplan con el formato solicitado.

Posteriormente es enviado a un integrante del Comité Científico Técnico, seleccionado en función del tema del artículo, el cual emite su opinión y evaluación. Dicha evaluación es enviada nuevamente a los autores para que revisen las observaciones y realicen los cambios pertinentes.

Por último, la versión final es sometida nuevamente al Comité Científico Técnico con la finalidad de verificar si cumplió con lo solicitado en la primera evaluación y puedan participar en el evento.

El Comité Científico Técnico envía al Comité Organizador la propuesta de artículos que consideran de un nivel académico adecuado para su publicación en la publicación electrónica.

[REGRESAR AL CONTENIDO](#)

Memorias del Congreso Científico Tecnológico de las carreras de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Industrial y Telecomunicaciones, sistemas y electrónica

ARTÍCULOS

ARTICULO	TITULO	AUTORES	CONTACTO
DE-01	Análisis numérico del flujo de aire de un alerón de transporte aéreo por el método de Elemento Finito	Rolando Manuel José, Guillermo Urriolagoitia Sosa, Beatriz Romero Ángeles, Rodrigo García García, Carlos Elías Miguel Ruiz, David Esaú Carbajal López, Guillermo Manuel Urriolagoitia Calderón	rmanuelj1800@alumno.ipn.mx
DE-02	Diseño de un patrón geométrico para la optimización de inspección en jeringas de insulina con capacidad de 1 mililitro	Rodrigo García García, Guillermo Urriolagoitia Sosa, Beatriz Romero Ángeles, David Esaú Carbajal López, Rolando Manuel José, Carlos Elías Miguel Ruiz	2019360018.ipn@gmail.com
DE-03	Cámara climática (biotopo) para crecimiento de diversas especies con efecto invernadero	Dámaris Carmen García García, Cintia Elí Hernández García, Iván Alberto Vértiz Maldonado, Julio César Ruiz Martínez, Milton Uri Bautista Garrido, Olga Mora Rodarte	cintiaelihg@gmail.com
DE-04	Prototipo de prótesis de miembro superior utilizando señales EMG	Roberto Hernández Sánchez, Fernando Gudiño Peñaloza	roberto.her3130@gmail.com
DE-05	Desarrollo mecanismos de envasado de productos alimenticios líquidos congelados	Santana Villegas Oziel, Trejo Castillo Daniela Sarahi	oziel.s.villegas@gmail.com
DE-06	Implementación de un control difuso de un motor DC en un microcontrolador Atmega328p	Fernando Gudiño Peñaloza	ilciarmin@gmail.com
DE-07	Diseño de un analizador de vibraciones	Luis Carlos Pérez Carbajal, Gilberto Amaya Ventura	iglcpc98@gmail.com
DE-08	Diseño y elaboración de una propuesta didáctica para obtener la fuerza y el coeficiente de fricción cinética en un plano inclinado mediante el software Tracker Video Analysis and Modeling Tool for Physics Education	Yolanda Benítez Trejo, Omar Vladimir Martínez Lujan	ybenitez@unam.mx
DE-09	La importancia de la innovación en la ingeniería	Alberto de Jesús Pastrana Palma, Pedro Guzmán Tinajero, Víctor Hugo Hernández Gómez, Aidé Castro Fuentes, Raúl Arturo Alvarado López	pgconacyt@gmail.com

[REGRESAR AL CONTENIDO](#)

Memorias del Congreso Científico Tecnológico de las carreras de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Industrial y Telecomunicaciones, sistemas y electrónica

ARTICULO	TITULO	AUTORES	CONTACTO
DE-10	Diseño y fabricación de un molino de granos de cosecha (MOLITEC)	Gabriel Sauza Salinas, Ignacio Cedillo Villagrán, Nancy Guadalupe Torres Nieto, Andrea Deyanira Reyes Gutiérrez	gabriel.ss@tlalnepantla.tecnm.mx
DE-11	Diseño y fabricación de una máquina desespinaadora y cortadora de nopales incrementando la productividad de los comerciantes (NOPALTEC)	Gabriel Sauza Salinas, Jesús Eduardo Barocio Rodríguez, Marco Antonio Peña Aguilar, Brandon Nicolas Justo, Erick Martínez Álvarez	gabriel.ss@tlalnepantla.tecnm.mx
DE-12	Rediseño de máquina para fabricación de fibras de PET	González Navarrete América Celeste, Urriolagoitia Sosa Guillermo, Romero Ángeles Beatriz, López Carrillo Juan Eduardo	agonzalezn1400@alumno.ipn.mx
DE-14	Diseño de un sistema alternativo de suministro de energía para un vehículo híbrido	Miriam Laura Juárez Hernández, Cesar Fabian Reyes Manzano, Daniel González Villanueva	milau_50@hotmail.com
DE-15	Diseño de una máquina impresora braille en base arquitectura Python	Juan Eduardo López-Carrillo, Karla María Estrada-Salazar, Guillermo Urriolagoitia-Sosa, Beatriz Romero-Ángeles	jlopezc2212@alumno.ipn.mx
EF-01	Electromagnetismo: circuito resonante	Pedro Guzmán Tinajero, Aidé Castro Fuentes, Ramón Osorio Galicia, Víctor Hugo Hernández Gómez	pgconacyt@gmail.com
EF-03	Segunda ley de Newton: componentes normal y tangencial, usando el software de análisis de video Tracker, bajo el programa PIAPIME ID 1.33.15.22	Roberto Reyes Arce, Yesenia Sánchez Fuentes, José Castillo Sánchez, Juan Rogelio Castro Sánchez, Norma Daniela Hernández Rodríguez, Pablo Osnaya Osnaya	roberto_reyes_a@hotmail.com
EF-04	ABP en los laboratorios experimentales de Física, bajo el programa FESC-PIAPIME ID 1.33.07.23	Roberto Reyes Arce, Sandra Rubí Reyes Herrera, Yesenia Sánchez Fuentes, José Castillo Sánchez, Juan Rogelio Castro Sánchez	roberto_reyes_a@hotmail.com
EF-06	Movimiento curvilíneo: tiro parabólico, usando el software de análisis de video Tracker, bajo el programa PIAPIME ID 1.33.15.22	Roberto Reyes Arce, Yesenia Sánchez Fuentes, José Castillo Sánchez, Juan Rogelio Castro Sánchez, Norma Daniela Hernández Rodríguez, Pablo Osnaya Osnaya	roberto_reyes_a@hotmail.com
EF-07	Formas cualitativa y cuantitativa de detectar carga eléctrica, para el desarrollo de prácticas de electrostática.	Ramón Osorio Galicia, Cesar Rueda Ángeles, Pedro Guzmán Tinajero, Ángel Rueda Ángeles, Natalia Ochoa Márquez	cruedaa@comunidad.unam.mx
EI-01	Evaluación de resultados entre el método numérico y el trabajo analítico en vigas isostáticas a flexión	Carlos Elías Miguel Ruiz, Guillermo Urriolagoitia Sosa, Jacobo Martínez Reyes, Beatriz Romero Ángeles, Rolando Manuel José, Rodrigo García García, David Esaú Carbajal López	cmiguelt1800@alumno.ipn.mx

[REGRESAR AL CONTENIDO](#)



Memorias del Congreso Científico Tecnológico de las carreras de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Industrial y Telecomunicaciones, sistemas y electrónica

ARTICULO	TITULO	AUTORES	CONTACTO
EI-03	Comparación del esfuerzo y la deformación entre las caras de dos placas en contacto unidas mediante un perno precargado	Jesús Alberto Cruz Flores, Juan Manuel Sandoval Pineda, Luis Armando Flores Herrera	jesusalbcrufl022@gmail.com
EI-04	Simulador estocástico de una torre de destilación multicomponente basado en Excel	Mario Luis Chew Hernández, Leopoldo Viveros Rosas, Raúl Gómez Gómez-Tagle	mario@tesco.edu.mx
EI-05	Comparación de resultados entre el método numérico y cálculo analítico en propuesta de sección transversal para un eje de rueda delantera de kart	Cortes Quero Sergio Eduardo, Guillermo Urriolagoitia Sosa, Beatriz Romero Ángeles, Jacobo Martínez Reyes, Juan Eduardo López Carrillo	scortesq2300@alumno.ipn.mx
EI-06	Prototipos didácticos para las competencias profesionales con ApD	Omar García De La Rosa, María de Lourdes Olivares Estrada, Leonardo Ceciliano Hernández, Ignacio Castro Zamora, Héctor García de la Rosa	hegar71@yahoo.com.mx
EI-07	Análisis trigonométrico y trazo de un triángulo y rombo con AutoCAD	Marco Alberto Torres Olvera	tom1626@hotmail.com
EI-08	Implementación de Práctica titulada "Diseño y Funcionamiento de un Filtro de Aire" dentro del Laboratorio de Ingeniería Ecológica	Gilberto Chavarría Ortiz, Víctor Hugo Hernández Gómez	gchoz70@comunidad.unam.mx
EM-01	La clase de matemáticas y el producto interno en un espacio vectorial	Celina Elena Urrutia Vargas, Armando Aguilar Márquez, Miguel de Nazareth Pineda Becerril, Pedro Guzmán Tinajero, Víctor Hugo Hernández Gómez, Omar García León	celinaelena@yahoo.com.mx
EM-02	Desarrollo de material electrónico multimedia del tema de distribuciones de probabilidad para las licenciaturas de ingeniería que se imparten en la FESC	Miguel de Nazareth Pineda Becerril, Omar García León, Armando Aguilar Márquez, Frida León Rodríguez, Nancy Rosas Fonseca	mnazarethp@gmail.com
EM-03	Modelo de base de conocimiento para la evaluación formativa en Álgebra Lineal	Nelly Rigaud Téllez, Roberto Blanco Bautista, Mario Sosa Rodríguez, Leonel Gualberto López Salazar	nerigaud@unam.mx

[REGRESAR AL CONTENIDO](#)

Memorias del Congreso Científico Tecnológico de las carreras de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Industrial y Telecomunicaciones, sistemas y electrónica

ARTICULO	TITULO	AUTORES	CONTACTO
EM-04	Ecuación de Laplace con condiciones de frontera no homogéneas	Esiquio Martin Gutiérrez Armenta, Marco Antonio Gutiérrez Villegas, Alfonso Jorge Quevedo Martínez, Israel Isaac Gutiérrez Villegas, José Alejandro Reyes Ortiz, María de Lourdes Sánchez Guerrero, Josué Figueroa González, Javier Norberto Gutiérrez Villegas	emga@azc.uam.mx
EM-05	Riemann Georg Friedrich Bernhard su aportación importante al cálculo Integración y al análisis numérico	Esiquio Martin Gutiérrez Armenta, Marco Antonio Gutiérrez Villegas, Alfonso Jorge Quevedo Martínez, Israel Isaac Gutiérrez Villegas, José Alejandro Reyes Ortiz, María de Lourdes Sánchez Guerrero, Josué Figueroa González, Javier Norberto Gutiérrez Villegas	emga@azc.uam.mx
EM-06	Ecuación de Laplace en conducción de calor con tres de ellas homogéneas una condición es del tipo de enfriamiento de Newton	Esiquio Martin Gutiérrez Armenta, Marco Antonio Gutiérrez Villegas, Alfonso Jorge Quevedo Martínez, Israel Isaac Gutiérrez Villegas, José Alejandro Reyes Ortiz, María de Lourdes Sánchez Guerrero, Josué Figueroa González, Javier Norberto Gutiérrez Villegas	magv@azc.uam.mx
EM-07	Métodos numéricos clásicos para resolver ecuaciones diferenciales de primer orden	Esiquio Martin Gutiérrez Armenta, Marco Antonio Gutiérrez Villegas, Alfonso Jorge Quevedo Martínez, Israel Isaac Gutiérrez Villegas, José Alejandro Reyes Ortiz, María de Lourdes Sánchez Guerrero, Josué Figueroa González, Javier Norberto Gutiérrez Villegas	magv@azc.uam.mx
EM-08	Contaminación de agua como un problema de aplicación física de la derivada	José Juan Conteras Espinosa, José Luz Hernández Castillo, Iván Noé Mata Vargas	ivannoematavargas@cuautilan.unam.mx
EM-09	Optimización del volumen de un tanque abierto como un problema geométrico de aplicación de la derivada	José Juan Conteras Espinosa, José Luz Hernández Castillo, Iván Noé Mata Vargas	ivannoematavargas@cuautilan.unam.mx
EM-10	Modelación de una montaña rusa con funciones polinomiales haciendo uso de software libre	Valeria Salud Herrera, Carlos Oropeza Legorreta, José Juan Contreras Espinosa	coropeza96@hotmail.com
FA-01	Producción del Bosón Z con correcciones de QCD	José Antonio Porras Melo, Ricardo Gaitán Lozano, Marco Antonio Arroyo Ureña	jp.porras08.ap@gmail.com

[REGRESAR AL CONTENIDO](#)

Memorias del Congreso Científico Tecnológico de las carreras de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Industrial y Telecomunicaciones, sistemas y electrónica

ARTICULO	TITULO	AUTORES	CONTACTO
FM-01	Diseño y análisis numérico de herramienta tipo grúa de tornillo de potencia para el desmontaje de motores de combustión interna con un peso máximo de 250Kg	Juan Carlos Pérez Partida, Miguel Martínez Mondragón, Itzel Montserrat Cruz Olivares, Beatriz Romero Ángeles, Guillermo Urriolagoitia Sosa	jperezp1002@alumno.ipn.mx
FO-02	Óptica: Una mirada al Universo	Pedro Guzmán Tinajero, Rodrigo Carrillo Ramírez, Víctor Hugo Hernández Gómez, Aidé Castro Fuentes	pguzmant@cuautilan.unam.mx
IA-01	Sistema de reproducción sustentable	Dámaris Carmen García García, Cintia Elí Hernández García, Miroslava Carolina Pérez Barreto	cintiaelihg@gmail.com
IC-01	Manipulación de objetos domóticos mediante comando de voz	Tania Abigail Lira Baca, Fernando Gudiño Peñaloza	itse.lira@gmail.com
ID-01	Rediseño de matriz y punzón	Díaz Hernández Luis Fernando, Arenas Romero Juan José, García Lira Jesús, Castillo Sánchez Martín Darío	jjarenasr.ipn.mx@gmail.com
ID-02	Shot Peening utilizado en componentes sujetos a esfuerzos de flexión y torsión	García-Lira Jesús, Arenas Romero Juan José, García Sotuyo Eduardo	jgarcialira@gmail.com
ID-03	Soldadura disímil de un acero al carbono y acero inoxidable austenítico	García-Lira J, Castillo Sánchez Martín, Arenas Romero Juan José	jgarcialira@gmail.com
ID-04	Elaboración y caracterización de una biopelícula a partir del almidón de la calabaza	Yozlin Adriana Medel Reyes, Pamela Alejandra Muñoz Hernández, Raúl Gómez Gómez Tagle, Mario Luis Chew	yozlin_adriana.iq@tesco.edu.mx
ID-05	Recuperación y rehabilitación de horno para de tratamiento térmico en aceros utilizando control electrónico de temperatura	Juan Martín Flores Ortiz, Raúl Rosas Olmos, Diego Sánchez García, Raúl Dalí Cruz Morales, Gonzalo Hedain López Mera, David Tinoco Varela	dativa19@hotmail.com
IE-01	Diseño de un sistema fotovoltaico para energizar una torre de telecomunicaciones en Quintana Roo, México	Juan Daniel Rivas Martínez, Martin Darío Castillo Sánchez	drivas-sigmatron@hotmail.com
IE-02	Diseño de un sistema fotovoltaico para energizar una bomba para agua utilizada en el cultivo de maíz	Juan Daniel Rivas Martínez, Martin Darío Castillo Sánchez	drivas-sigmatron@hotmail.com
IE-03	Diseño de un sistema fotovoltaico interconectado a la red para la alimentación de una escuela primaria en una comunidad de Guerrero	Martín Darío Castillo Sánchez, María de Jesús Velázquez Vázquez, Juan Daniel Rivas Martínez	avinfer@hotmail.com
IE-04	Análisis y estudio de la combustión completa e incompleta en un motor de combustión interna utilizando diferentes cantidades de biogás	Andrea Elizabeth Pérez Ramos, Georgiy Polupan, Erik Zamora	eliza.920410@gmail.com

[REGRESAR AL CONTENIDO](#)

Memorias del Congreso Científico Tecnológico de las carreras de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Industrial y Telecomunicaciones, sistemas y electrónica

ARTICULO	TITULO	AUTORES	CONTACTO
IE-05	Tecnologías recientes sobre sistemas de refrigeración utilizados para la conservación de alimentos empleando el efecto Peltier como método alternativo a los sistemas por compresión	Omar Olvera García, Omar Armando Cornejo Becerra, Víctor Hugo Hernández Gómez	omarog@comunidad.unam.mx
IF-01	Sistema de trasferencia estadístico y de reportes para el control de seguimiento a egresados en ENOI	Emmanuel Ulises Montalvo Pérez, Juan Carlos Rodríguez Campos, Mariana Rico Chagollán, Gabriela Vidal Ortiz, Hugo Enrique Pérez Arias	juan.rc@irapuato.tecnm.mx
IF-02	Control de temperatura en laboratorio de máquinas eléctricas, cálculo y selección de equipo	Ricardo Navarro Soto, María de Jesús Velázquez Vázquez, Juan Daniel Rivas Martínez, Martín Darío Castillo Sánchez	avinfer66@gmail.com
IF-03	Sistema de trasferencia tecnológica para el control administrativo y procesos internos de RH en ENOI	Alexis Lemus Ogaz, Juan Carlos Rodríguez Campos, Mariana Rico Chagollán, Gabriela Vidal Ortiz, Carlos Alberto Corona Razo, Ricardo Aaron Rentería Pérez	juan.rc@irapuato.tecnm.mx
IF-04	Diseño de un sistema automático de medición de flujo de granos pequeños	Martín Darío Castillo Sánchez, María de Jesús Velázquez Vázquez, Abraham Rodríguez Galeote	dariosanchezveneno@gmail.com
IF-05	Implementación de una red EtherNet/IP mediante el uso del protocolo industrial común de movimiento	Ivone Cecilia Torres Rodríguez, Pedro Francisco Huerta González, René Tolentino Eslava	phuerta@ipn.mx
IF-06	Implementación de un sistema de inspección de visión artificial para el análisis de tapones de rines	Pedro Francisco Huerta González, Ivone Cecilia Torres Rodríguez, René Tolentino Eslava	phuerta@ipn.mx
IF-09	Automatización de máquina serigráfica, cálculos y selección de dispositivos	Ricardo Navarro Soto, María de Jesús Velázquez Vázquez, Juan Daniel Rivas Martínez, Martín Darío Castillo Sánchez	dariosanchezveneno@gmail.com
IG-01	Modelo de simulación Industrial para carga y descarga de desechos ambientales basado en camiones	Nancy Roxana Ruiz Chávez, Beatriz Aguilar Romero, Laura Vélez Hernández Carlos Roberto Ibáñez Juárez, Aranza Dehesa	carlos.ibanez@correo.buap.mx
IG-02	La amenaza de las cadenas de suministro rotas	Samuel Garrido Roldán, Gisela Janeth Espinosa Martínez, Raúl Rodríguez Moreno	samuel.sub.a@tesco.edu.mx
IM-01	Estudio experimental de la caída de presión en rectificadores de flujo	René Tolentino Eslava, Ivone Cecilia Torres Rodríguez, Pedro Francisco Huerta González	rtolentino@ipn.mx
IP-01	Diseño y análisis numérico de una base estructural usada en un paquete de aire	Pablo Andrés Fernández Martínez, Urriolagoitia Sosa Guillermo, Romero Ángeles Beatriz, Urriolagoitia Calderón Guillermo Manuel	pfernandezm1400@alumno.ipn.mx
IP-02	El incorrecto enfoque de las 5S de la calidad	Oscar Sánchez Baños	scoscar@yahoo.com
MC-01	Uso de simuladores como herramienta didáctica para análisis solución de problemas en asignaturas de redes de computadoras	José Juan Rico Castro, Leonel Gualberto López Salazar, Gonzalo Iván Hernández Vázquez, Omar García León	josejuanricoc@cuautitlan.unam.mx

[REGRESAR AL CONTENIDO](#)

Memorias del Congreso Científico Tecnológico de las carreras de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Industrial y Telecomunicaciones, sistemas y electrónica

ARTICULO	TITULO	AUTORES	CONTACTO
MC-02	Uso de fluidos newtonianos en la erosión y dilatación de imágenes de iris y huellas dactilares	Fernando Gudiño Peñaloza	ilciarmin@gmail.com
MD-01	Secuencias finitas y palabras. Conceptos fundamentales	Alberto A. Herrera Becerra, Francisco J. Rodríguez Ramírez	alberto.herrera@icat.unam.mx
MD-02	Método de las raíces iguales	Juan Alfonso Oaxaca Luna	joaxaca@unam.mx
ME-01	Una investigación sobre diferentes enfoques de aprendizaje de maquina	Omar García León, Miguel de Nazareth Pineda Becerril, Leonel Gualberto López Salazar, Celina Urrutia Vargas, Flores Pérez Judith Mayte	caronte4509@yahoo.com
ME-02	Movilidad y sistemas locales de empleo	Omar García León, Armando Aguilar Márquez, Miguel de Nazareth Pineda Becerril, Frida León Rodríguez, Rosalba Nancy Rosas Fonseca	caronte4509@yahoo.com
O-01	Análisis de un portafolio de acciones de empresas pertenecientes al sector del acero	María Petra González Vargas, Minely Gabriela Robles Rivera, Mónica Muñiz Arzate	maria_gonzalez05@hotmail.com
O-02	El papel de las escuelas en el emprendurismo en México	Luis Alfredo González Nava, Mónica Muñiz Arzate, Omar Yenahir Ayala Montoya	compufreed@yahoo.com
O-03	Análisis estadístico de saldos a favor de IVA y su impacto a empresas del sector de alimentos con alta densidad calórica	Alfredo Aldana Sánchez, Pedro Olivera Figueroa, Mónica Muñiz Arzate	aaldana2018@hotmail.com

[REGRESAR AL CONTENIDO](#)





Análisis numérico del flujo de aire de un alerón de transporte aéreo por el método de Elemento Finito

Rolando Manuel Jose¹, Guillermo Urriolagoitia Sosa¹, Beatriz Romero Ángeles¹, Rodrigo García García¹, Carlos Elias Miguel Ruiz¹, David Esaú Carbajal López¹, Guillermo Manuel Urriolagoitia Calderón¹

RESUMEN

El trabajo abarca el estudio aerodinámico efectuado en el comportamiento de un elemento en un transporte aéreo (alerón). El objetivo es simular y mejorar el flujo aerodinámico que tiene un modelo de alerón de avión mediante un análisis numérico del comportamiento de flujo de aire, aplicando el Método de Elemento Finito (MEF). Como primera parte de trabajo, se realiza una investigación de los diferentes modelos geométricos de alerones de aviones para conocer resistencia del avance y la eficiencia del flujo de aire que estos presentan. Posteriormente se diseña una propuesta de alerón de avión, con el cual se pretende obtener el comportamiento del flujo de aire a través de la superficie del alerón del modelo propuesto mediante el análisis numérico efectuado por el software ANSYS, realizado a tres ángulos diferentes. Para finalizar con una comparación de los resultados obtenidos del modelo propuesto con cada ángulo cuando se presenta mayor, menor y nula sustentación.

ABSTRACT

The work covers the aerodynamic study conducted on the behavior of an element in an air transport (aileron). The objective is to simulate and improve the aerodynamic flow of an aircraft aileron model by means of a numerical analysis of the air flow behavior, applying the Finite Element Method (FEM). As a first part of the work, an investigation of the different geometric models of aircraft ailerons is carried out to know the advance resistance and the efficiency of the air flow that they present. Subsequently, a proposal of an aircraft aileron is designed, with which it is intended to obtain the behavior of the air flow through the aileron surface of the proposed model through the numerical analysis performed by the ANSYS software, done at three different angles. To finish with a comparison of the results obtained from the proposed model with each angle when there is greater, lesser and null lift.

Palabras claves: Diseño, Aerodinámica, Alerón, Análisis, MEF.

¹ Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de ingeniería Mecánica y Eléctrica, Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, Unidad Profesional Adolfo López Mateos “Zacatenco”.

rmanuelj1800@alumno.ipn.mx,
romerobeatriz97@hotmail.com,
cmiguelr1800@alumno.ipn.mx,
urrio332@hotmail.com

guiurri@hotmail.com,
rgarciag1801@alumno.ipn.mx,
dcarbajal2200@alumno.ipn.mx

INTRODUCCIÓN

El sector aeronáutico ha evolucionado a lo largo de los años, con la implementación de nuevos diseños, mejorando la aerodinámica de las aeronaves. Asimismo, la aerodinámica estudia el comportamiento del fluido alrededor de un cuerpo sólido, en este caso, el avión. Existen varios conceptos importantes en el estudio de la aerodinámica, como las fuerzas que actúan sobre el objeto (avión): levantamiento, empuje, arrastre y peso. En la construcción de un avión, el diseño del ala es indispensable, ya que en estos se incluyen componentes como el alerón, flaps y slats. El alerón es el elemento de estudio en esta investigación, lo cual hace importante mencionar que estos componentes se encuentran en los extremos de las alas del avión y que son asimétricos en su funcionamiento, controlando el balanceo de la aeronave, Núñez (2010).

Los avances computacionales han permitido estudiar el flujo de aire en cualquier dispositivo o elemento, haciendo más fácil comprender y predecir el comportamiento que tendrá un diseño, sin la necesidad de realizar experimentos fallidos. Por tal motivo, se realizará dicho análisis aerodinámico para estudiar el flujo de aire en el ala de un avión mediante el Método de Elemento Finito, con el software ANSYS.

ANTECEDENTES

El primer registro de la aviación remonta alrededor del año 400 a.C., el filósofo y matemático Arquitas de Tarento fabricó una “paloma de madera” la cual fue capaz de mantenerse suspendida en el aire, siendo un experimento para la posteridad, Calderón (2012). Siglos más tarde, Abbás Ibn Firnás fue el primer humano en fabricar un artilugio que él mismo usó para planear, el cual consistía en alas de madera cubiertas de seda y plumas, junto con una vestimenta cubiertas con el mismo material. Saltó desde un lugar elevado, con lo que logró suspenderse en el aire por algunos segundos, recorriendo gran distancia hasta el momento de aterrizaje, el cual no realizó de manera adecuada sufriendo daños severos en la espalda, Martínez (2017).

Leonardo da Vinci fue un inventor, ingeniero, arquitecto, etc., del renacimiento italiano, sus obras fueron precursoras de los avances que se tienen actualmente. Estudió el vuelo por medio del ala de las aves, y aunque no logró descifrar todo lo relacionado con el vuelo, fue un pionero del área, investigando el vuelo de manera horizontal y vertical, como también inventando el “tornillo aéreo,





máquina voladora” en el siglo XV y XVI, Tomasini (2012). Posteriormente, fueron varios los estudios efectuados por grandes científicos, investigadores, etc., como Galileo Galilei, Isaac Newton, Leonhard Euler y Daniel Bernoulli, aportando grandes descubrimientos y teorías para el estudio de la aerodinámica.

George Cayley fue un ingeniero británico, estudió la locomoción aérea, experimentó con aeromodelos, y demostró que las superficies con curvatura son mejores que las planas. Inventó el principio de diedro, el cual consiste en alas en forma de V achatada para estabilidad lateral y la cola horizontal para estabilidad longitudinal, sus estudios abarcan las cuatro fuerzas vectoriales: levantamiento, empuje, arrastre y peso. Otto Lilienthal fue un ingeniero alemán y fue el primero en demostrar las ventajas de superficies curvas en el ala de aviones, para tener una resistencia elevada de fuerzas de resistencia. En 1877 inventó un planeador similar a las alas de los pájaros. Al igual que Lilienthal, Octave Alexandre Chanute, ingeniero estadounidense, realizó inventos de aviación, con la idea de que lo primordial era conseguir el control del vuelo mecánico. Inventores como William Samuel Henson (británico) y John Stringfellow, realizaron prototipos, aunque sin obtener el éxito deseado. Asimismo, Clement Ader (ingeniero francés) e Hiram Stevens Maxim (inventor británico), realizaron igualmente sus propios inventos aéreos, sin embargo, ninguno tuvo éxito, aunque lograban recorrer distancias con pequeñas elevaciones, no eran consideradas como vuelos. Samuel Pierpont Langley (científico estadounidense) intentó fabricar un avión, siendo más pesado que el aire, sin obtener el éxito esperado, Jordan (2015).

Se puede decir que el primer vuelo a motor fue obra del inventor alemán Gustave Whitehead en 1901, quien logró despegar y aterrizar en Connecticut, llamando a su modelo *Número 21*. consiguió desplazarse más de dos kilómetros y medio a una altura de 60 metros. No obstante, los hermanos Wright en 1903 realizaron con éxito un vuelo tripulado en el *Flyer I*, nombre que le dieron a su aeronave, el cual era impulsado por un motor de combustión interna de 12 CV. Aunque su primer biplano en lograr un vuelo adecuado fue el *Flyer III*, Jordan (2015).



Figura 1.- Hermanos Wright y el *Flyer I* en 1903

La primera vez que se ocuparon alerones en un avión tripulado fue en el año 1904, adaptados en el planeador de Robert Esnault-

Pelterie. Henry Farman introdujo en su diseño un prototipo de alerones similar al que se maneja actualmente, ya que disponía de alerones articulados a la estructura alar, en su prototipo Farman III en 1909, Andrade (2014).

MARCO TEORICO

Las aeronaves se componen de elementos en común, diferenciándose en el diseño, ya que depende del uso final que la aeronave tendrá. Los elementos principales de un avión permiten que este pueda despegar, suspenderse, aterrizar y virar. El primer elemento es el fuselaje o cuerpo del avión, tiene como principal función servir de soporte a componentes como el ala, estabilizadores, mandos de vuelo, etc. El diseño de este dependerá de la finalidad a cumplir o del servicio a proporcionar. Dependiendo del diseño, la resistencia que proporcionará será menor o no, Juste (2016).



Figura 2.- Fuselaje de avión

Para que un avión pueda suspenderse en el aire necesita alas, las cuales están conformados por conjuntos de perfiles aerodinámicos que produzcan una diferencia de presiones, produciendo el efecto de sustentación, el cual se explicará posteriormente, Valverde (2013). El perfil alar será diseñado conforme a los siguientes aspectos:

- Línea de cuerda (línea roja)
- Curvatura (línea verde)
- Espesor máximo (flecha bidireccional)
- Extradós (parte superior)
- Intradós (parte inferior)

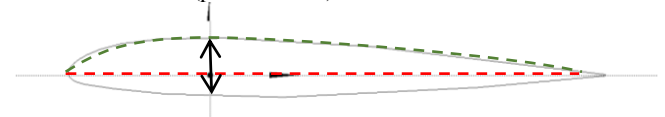


Figura 3.- Perfil alar asimétrico de un avión

De igual modo, en el momento que el avión se desplaza en el aire, la posición que genera entre la línea de cuerda y la dirección que este genera en el vuelo, se denomina ángulo de ataque (figura 4).

Los perfiles alares también pueden ser diseñados de forma simétrica o asimétrica. Los perfiles simétricos tienen la misma



superficie en las zonas extradós e intradós, facilitando su construcción.

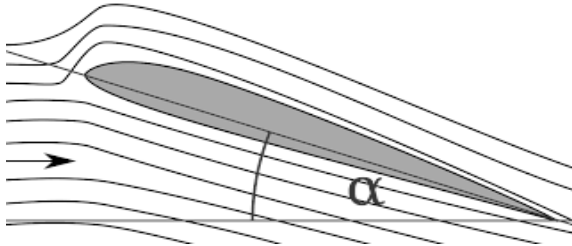


Figura 4.- Ángulo de ataque de perfil alar

Mientras que los perfiles asimétricos son lo opuesto, las superficies son diferentes, ya que una cuenta con una curvatura más pronunciada, a su vez cuentan con una mayor sustentación que los perfiles simétricos, Núñez (2010).

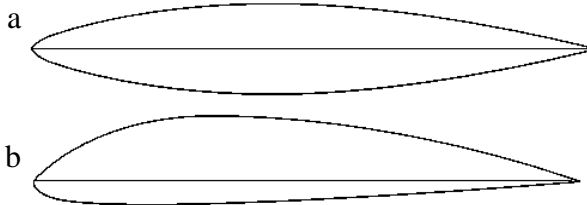


Figura 5.- Diseños de perfil alar simétrico (a) y asimétrico (b)

El diseño del perfil alar es un factor importante que influye en la sustentación del avión. El cual es una diferencia de presiones presentes en la parte superior del perfil alar (extradós) y la parte inferior (intradós). Sin embargo, el extradós debe permitir la aceleración del aire al mismo tiempo que la presión se reduzca, originando que el avión logre la sustentación. Otros factores importantes son el ángulo de ataque, la velocidad del aire y su densidad.

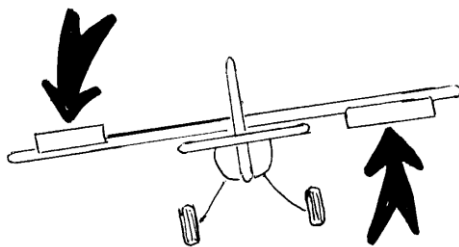


Figura 6.- Alerón izquierdo con menor sustentación y alerón derecho con mayor sustentación

Cuando el avión se encuentra en vuelo, tendrá tres ejes de rotación los cuales se denominan: eje longitudinal, eje lateral y eje vertical, todos con origen en el centro de gravedad, siendo perpendiculares

entre sí. El eje longitudinal será el punto de enfoque, debido a que este movimiento es producido por los alerones encontrados en los bordes de cada ala del avión. Los alerones se consideran superficies de mando y control, ya que permiten realizar virajes al avión mediante el alabeo.

Están diseñadas normalmente con una cara y un fondo, una curva y otra plana, en ocasiones ambas pueden ser curvadas, aunque de longitud de recorrido mayor que la otra. Ambos alerones trabajan de manera asimétrica, lo cual produce una ganancia de sustentación de un lado (elevación de alerón) y pérdida del otro (descenso de alerón). Los ángulos de recorrido de estos elementos son particularmente reducidos, en ascenso del alerón tiene un ángulo de 20°-25° y para descenso del alerón 12°-15° de movilidad, lo cual produce el giro del avión.

Para la elaboración de las alas de los aviones, comúnmente el material más ocupado es el aluminio, el cual equivale del 60 al 80% del total del material en la fabricación del avión. Sin embargo, no es el único material que puede ser ocupado, materiales como el acero, el titanio o materiales compuestos. Sobre estos materiales el aluminio posee ventajas como: costos más accesibles, fabricación poco compleja, liviano, dúctil, asimismo, es un material con propiedades adecuadas para la aeronáutica, Juste (2016).

DESARROLLO

Se diseña primeramente el perfil alar, el primero se contempla un ángulo de 0°, el segundo con un ángulo de ascenso de 25° y el último con uno de descenso de 14°. Esto debido a que son los ángulos máximos que pueden presentar los alerones del perfil alar en el instante de giro. Se diseña el perfil alar con el alerón en una misma pieza, para una mayor facilidad de análisis computacional.

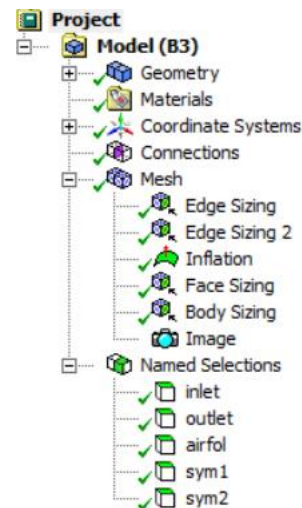


Figura 7.- Pasos efectuados para realizar el análisis del perfil alar, diseño propio



El diseño del perfil alar se exporta a ANSYS Workbench, para efectuar el discretizado. Este se realiza dentro de una figura rectangular, el cual internamente conlleva el perfil alar. Mediante las opciones que permite el programa, se sustrae el perfil alar para poder realizar las condiciones que este requiere, como lo muestra la figura 7 para las funciones ocupadas y la figura 8 para el discretizado obtenido.

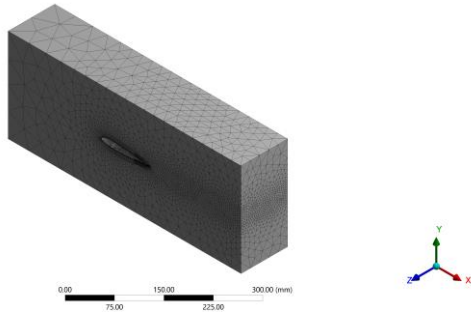


Figura 8.- Discretizado del perfil alar con ángulo de 0° , vista isométrica (elaboración propia)

Se muestran los discretizados generados de los perfiles alares con alerón, con el respectivo ángulo propuesto, el primero es referente al descenso y el segundo a la elevación que el avión genera al momento de realizar rotación en su eje longitudinal.

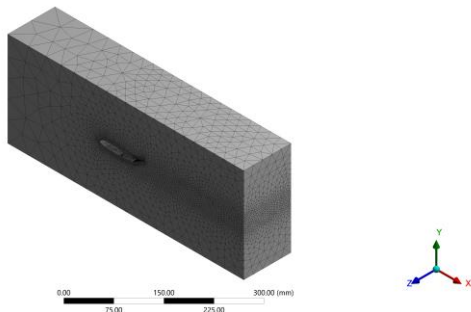


Figura 9.- Discretizado del perfil alar con ángulo de 25° , vista isométrica (elaboración propia)

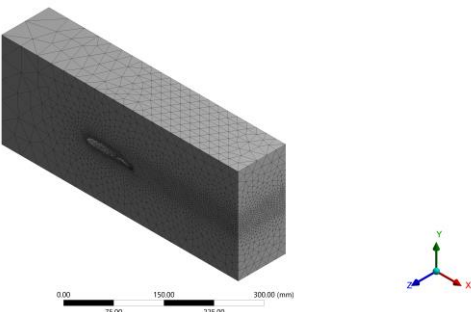


Figura 10.- Discretizado del perfil alar con ángulo de 14° , vista isométrica (elaboración propia)

Cada bloque contiene seis caras, en el eje “x” se encuentran dos caras, el primero se encontrará de parte frontal del perfil alar, el cual se denominará “inlet”, el posterior a este mismo eje será la cara “outlet”. En el eje “y”, ambas caras serán denominadas “sym 1” y en el eje “z” ambas caras se denominarán “sym 2” y las caras dentro del perfil alar se llamarán “airfoil”. Asimismo, estos pasos serán efectuados en todos los análisis, los cuales contienen los tres perfiles a estudiar.

Realizando un acercamiento del perfil, se observa que se efectuó un discretizado particular en la zona interna del perfil en referencia del bloque (figura 11,12 y 13).

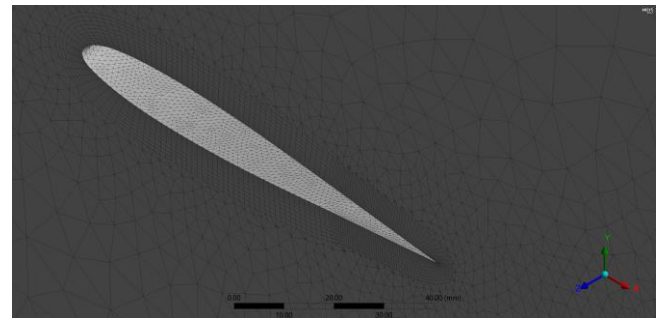


Figura 11.- Discretizado del perfil alar con ángulo de 0° (elaboración propia)

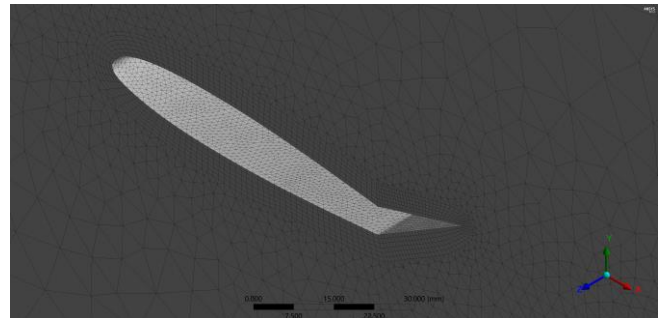


Figura 12.- Discretizado del perfil alar con ángulo de 25° (elaboración propia)

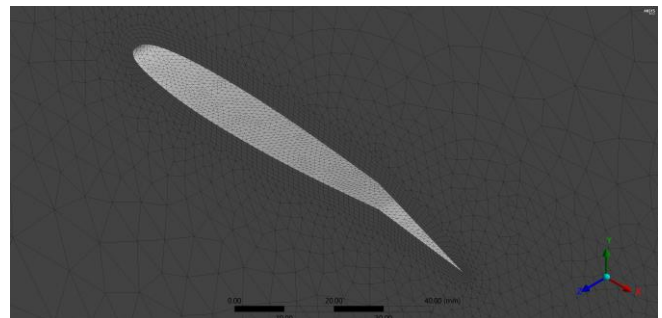


Figura 13.- Discretizado del perfil alar con ángulo de 14° (elaboración propia)



Se procede a efectuar el análisis aerodinámico mediante uso del CFD utilizando el software ANSYS Fluent. Con el análisis del perfil alar se pretende entender cómo influye el ángulo, longitud del perfil y del alerón, en tres ángulos de inclinación diferentes. Para conseguir dicho resultado se consideran los siguientes datos para efectuar el análisis, los cuales son datos estándar en el análisis.

Tabla 1.- Datos para análisis de perfil alar (elaboración propia)

Velocidad	30 m/s
Fluido	Aire
Presión	0 Pa

RESULTADO DE SIMULACIÓN CON PERFILES AERODINÁMICOS

Se realizaron 1200 iteraciones para obtener un análisis más preciso, en los cuales se verá reflejado la velocidad y la presión que estos presentan en un momento cuando la velocidad es de 30 m/s. Es importante mencionar que todos los análisis se realizaron con un ángulo de ataque de 0°

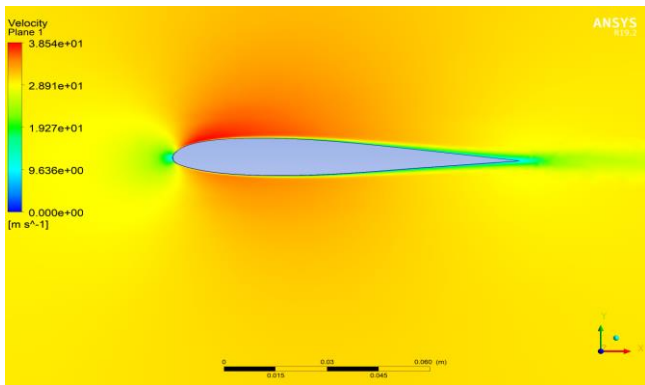


Figura 14.- Velocidad del perfil alar con ángulo de 0° (elaboración propia)

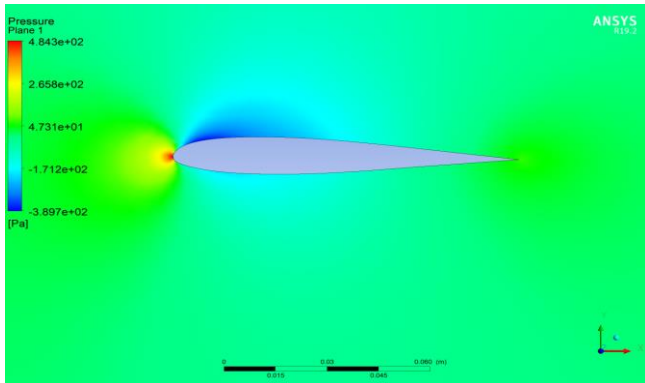


Figura 15.- Presión del perfil alar con ángulo de 0° (elaboración propia)

Se puede observar en la figura 14, cuando el alerón está en un ángulo de 0° , la velocidad máxima alcanzada es de 38.54 m/s. Por otra parte, en la figura 15 la presión máxima es de 484.3 Pa para la parte frontal del perfil y la presión en la zona superior es de -389.7 Pa, lo cual indica una presión menor a la atmosférica. Se observa que la punta del perfil alar, la presión es máxima debido a que es la zona de impacto, donde la velocidad es menor o igual a 0.

Cuando el alerón de un ala se encuentra a un ángulo de 25° , realizando una rotación en su eje longitudinal, la otra ala u otro extremo del perfil alar del avión, realiza una inclinación máxima igualmente, ya que actúan de manera opuesta, cuando el alerón de un perfil alar sube, la otra baja.

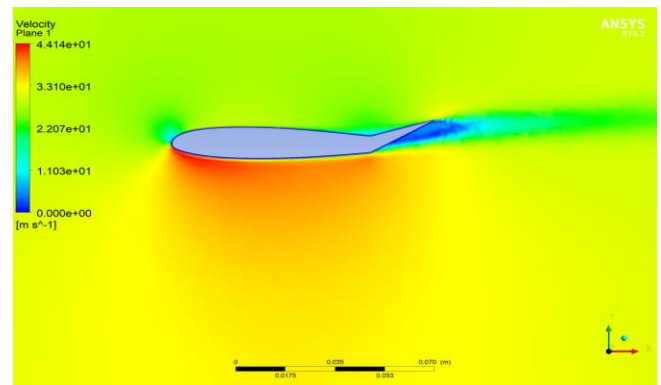


Figura 16.- Velocidad del perfil alar con ángulo de 25° (elaboración propia)

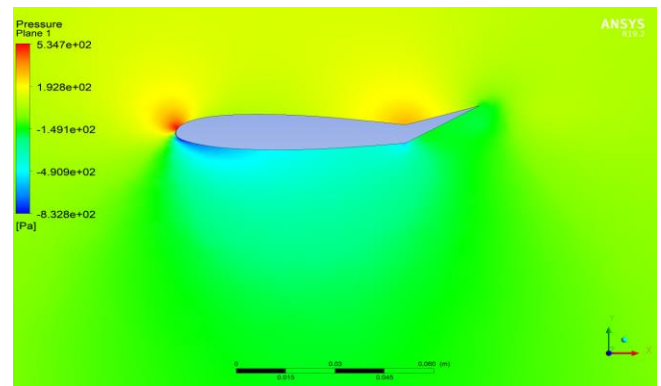


Figura 17.- Presión del perfil alar con ángulo de 25° (elaboración propia)

Como se observa en la figura 16, la velocidad máxima que se genera debido a la posición del alerón en el perfil alar propuesto es de 44.14 m/s, la cual se produce en la parte inferior. Asimismo, en la parte posterior del alerón, la velocidad es 0 o nula. La presión en la parte frontal del perfil alar es máxima, con un valor de 534.7 Pa, mientras que la parte inferior del perfil, la presión es de -490.9 Pa. Lo cual indica que la presión en la parte superior del perfil es mayor que la parte inferior.



Por el contrario, en la figura 18, es posible notar que la velocidad en la parte superior del perfil es mayor que en la parte inferior, esta cuando se genera un ángulo máximo en descenso del alerón de 14° , mientras que en la zona frontal del perfil la velocidad es menor, con valores aproximados entre 0 y 10 m/s. La presión observada en la figura 19 es máxima en la parte baja del cabezal del perfil alar, mientras que en la parte inferior es de mayor presión que la parte superior, presiones cercanas a 167.8 Pa para la zona superior y -490 Pa en la zona inferior del perfil.

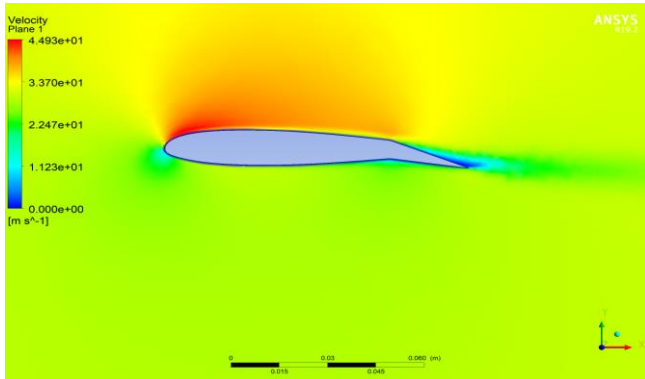


Figura 18.- Velocidad del perfil alar (elaboración propia) con ángulo de 14°

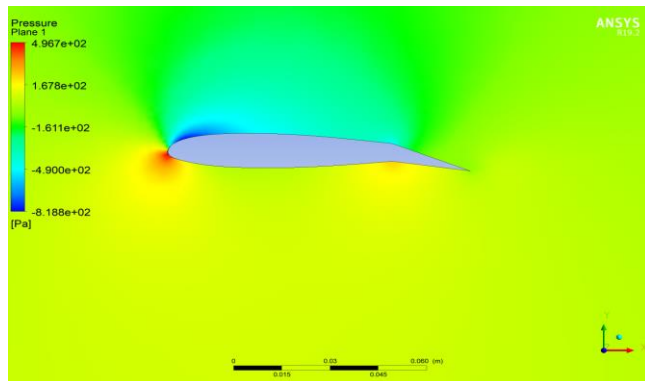


Figura 19.- Presión del perfil alar (elaboración propia) con ángulo de 14°

RESULTADOS Y CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos son valores cuando el alerón se encuentra con un ángulo de ataque de 0° . Sin embargo, la comparación de resultados es diferente debido a que los análisis efectuados son en diferentes ángulos del alerón del avión, siendo cuando se presenta una mayor, una menor y un nulo efecto de sustentación. Cada análisis permite conocer la velocidad máxima y mínima, como las presiones presentes en dicho análisis. Para ello, considerando los datos de la Tabla 1, se comparan los siguientes valores de cada análisis efectuado en distintos ángulos del alerón para entender el comportamiento.

Tabla 2.- Resultados del análisis de perfil alar (elaboración propia)

Ángulo alerón	Velocidad máxima (m/s)	Presión máxima (Pa)
0°	38.54	484.3
25°	44.14	534.7
14°	44.93	496.7

Como se logra observar, para cada análisis las condiciones son las mismas, con la diferencia de la posición del alerón, el cual se estudia en tres posiciones distintas. La velocidad y la presión son los puntos a estudiar, con el cual se obtienen valores máximos y mínimos, mismos que nos indicaran el comportamiento que tendrán cuando se realice el desplazamiento del alerón desde el mando de control.

En primera instancia, el ángulo de 0° presenta una presión máxima en el radio de curvatura, mientras que en el cuerpo del perfil se crea una distribución de presiones. La velocidad aumenta en las zonas de extradós e intradós del perfil alar generando así el efecto de succión, lo cual implica una disminución de presiones.

Posteriormente, se analiza el alerón cuando realiza un giro máximo de 25° , obteniendo como resultado una presión mayor en el extradós y una presión inferior en el intradós. De mismo modo, la velocidad mayor se ubica en la misma zona donde la presión es menor, permitiendo que el perfil alar descienda sobre su eje longitudinal.

Finalizando con el ultimo análisis cuando el alerón desciende, presenta un ángulo máximo de $12^\circ - 15^\circ$. Sin embargo, el modelo presente obtiene un ángulo de 14° , donde se aprecia que la presión es mayor en la zona de intradós y menor en la zona de curvatura extradós. Asimismo, la velocidad es mayor en la zona superior. De tal forma que se permita el ascenso del perfil alar sobre su eje longitudinal.

En conclusión, la velocidad es mayor en la zona de extradós y la presión menor en la misma zona cuando el avión realiza un giro permitiendo que el perfil alar se eleve o ascienda. Por el contrario, el mismo caso se presenta cuando la velocidad es mayor en la zona del intradós y la presión menor en la misma zona, permitiendo que el perfil alar descienda y se complemente el giro. Cabe mencionar que ambos efectos se presentan en el mismo instante, presente uno en cada perfil alar del avión.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- [1] Andrade-Morales, A. A. (2014), Diseño de un avión ultraliviano con base en las normas técnicas JAR-FAR y el reglamento aéreo colombiano, Trabajo de grado, Universidad Tecnológica de Pereira, pp 32.
- [2] Calderón, W. F. (2012), Entre la mentira y la verdad pitagórica: el caso de Arquitas de Tarento, HYBRIS, Revista de Filosofía, Vol. 3, No. 2, pp 69.



- [3] Jordán-Delgado, L. F. (2015), La aerodinámica y la voluntad de volar, Revista Cultura, Ciencia y Tecnología, No. 17, pp 31-37.
- [4] Juste-Ruiz, A. (2016), Diseño de un ala de avión mediante técnicas numéricas (FEM), Trabajo fin de grado, Universidad Carlos III de Madrid, pp 25-26.
- [5] Martínez-Enamorado, V., Siles-Guerrero, F. (2017), Anejos de Takurinna, entre al-Ándalus y los inicios de la Edad Moderna, Actas del II congreso Internacional de Historia de la Serranía de Ronda, Ed. La Serranía, pp 364-365.
- [6] Núñez-Rafael, E. (2010), Diseño, Construcción, Instrumentación y Control de un Vehículo Aéreo No Tripulado (UAV), Tesis de grado, Instituto Politécnico Nacional, pp 8.
- [7] Tomasini, M. C. (2012), Las máquinas de Leonardo da Vinci, Revista Ciencia y Tecnología, Universidad Palermo, No. 12, pp 30.
- [8] Valverde-Vega, M. F. (2013), Simulación mecatrónica del control de los alerones por interfaz gráfica, Tesis de grado, Instituto Politécnico Nacional, pp 2.

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Rolando Manuel Jose: Alumno de Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica, Instituto Politécnico Nacional, ESIME, SEPI Zacatenco, México.

Guillermo Urriolagoitia Sosa: Ingeniero Mecánico egresado de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Adolfo López Mateos “Zacatenco”. Maestría En Ciencias en el área de Diseño Mecánico con tema en Mecánica de la Fractura en la Sección de Estudios de Posgrado e investigación en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y eléctrica del Instituto Politécnico Nacional. Maestría en Ingeniería Mecánica con tema en Fatiga por Frotamiento Egresado de la Universidad de Oxford Brookes. PhD Doctorado en filosofía con tema de Esfuerzos Residuales en la Universidad de Oxford Brookes. Actualmente Profesor Investigador de la sección de estudios de posgrado e investigación en la escuela superior e Ingeniería Mecánica y eléctrica del Instituto Politécnico Nacional.

Beatriz Romero Ángeles: Ingeniero Mecánico egresada de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Unidad Adolfo López Mateos “Zacatenco”. Maestría en Ciencias en Mecánica no Lineal en la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional. Doctorado en Arresto de Grietas en la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Actualmente Profesor Investigador de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional

Rodrigo García García: Alumno de Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica del Instituto Politécnico Nacional, ESIME, SEPI Zacatenco México.

Carlos Elias Miguel Ruiz: Alumno de Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica del Instituto Politécnico Nacional, ESIME, SEPI Zacatenco México.

David Esaú Carbajal López: Alumno de Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica del Instituto Politécnico Nacional, ESIME, SEPI Zacatenco México.

Guillermo Manuel Urriolagoitia Calderón: Ingeniero Mecánico egresado de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Unidad Adolfo López Mateos “Zacatenco”. Maestría en Ciencias, University of Stradclyde. Diplomado en Ingeniería en el Imperial College. Doctorado en Filosofía en la Universidad de Londres. Actualmente Profesor Investigador de la sección de estudios de posgrado e investigación en la escuela superior e Ingeniería Mecánica y eléctrica del Instituto Politécnico Nacional.





Diseño de un patrón geométrico para la optimización de inspección en jeringas de insulina con capacidad de 1 mililitro

Rodrigo García García, Guillermo Urriolagoitia Sosa, Beatriz Romero Ángeles, David Esaú Carbajal López, Rolando Manuel José, Carlos Elías Miguel Ruiz

RESUMEN

En este texto se abordará todo lo relevante al diseño del patrón, mencionando inicialmente la propuesta del mecanismo para la solución del problema planteado. Las consideraciones más importantes para empezar a plantear una idea más detallada de lo que será el patrón, son sus funciones que se desea que cumpla al igual que la fusión de los patrones ya existentes para la inspección de jeringas en uno solo, con ello poder lograr un incremento en la eficiencia del departamento de inspección y calidad de la empresa dedicada a la fabricación de jeringas, en la cual se cambiarían los 5 filtros de calidad a solo 1. Además, también podremos encontrar el cómo estará compuesto el patrón, mostrando el despiece de este y las funciones particulares con las que contarán cada una de sus piezas siendo todas de gran importancia, y de igual forma se muestra información de los componentes que ayudarán a la unión y ensamble del patrón en conjunto ubicados estratégicamente para no afectar el funcionamiento final y objetivo del patrón. Con ello comenzar el diseño preliminar de cada pieza para posteriormente obtener el ensamble de todas ellas para obtener la propuesta del diseño mecánico final, siendo este el patrón final, mejorando con él, tiempos y eficiencia para la inspección de jeringas de insulina.

ABSTRACT

In this text will address everything relevant to the design of the pattern, initially mentioning the proposal of the mechanism for the solution of the problem raised. The most important considerations to begin to propose a more detailed idea of what the pattern will be, are its functions that you want it to fulfill, as well as the fusion of the existing patterns for the inspection of syringes into one, and with this, be able to achieve an increase in the efficiency of the inspection and quality department of the company dedicated to the manufacture of siringes, in which the 5 quality filters will be changed to only 1. In addition, we can also find how the pattern will be composed, showing its breakdown and the particular functions that each of its pieces will have, all of them being of great importance, and in the same way, information is shown on

the components that help the union and assembly of the pattern as a whole strategically located so as not to affect the final operation and the objective of the pattern. With this the preliminary design of each piece will begin to later obtain the set of all of them to obtain the final mechanical design proposal, this being the final pattern, improving with it, times and efficiency for the inspection of insulin syringes.

Palabras claves: Diseño, Patrón, Inspección, ingeniería.

INTRODUCCIÓN

El diseño en la Ingeniería es una metodología en el que se elabora un sistema, componente o proceso para poder satisfacer una necesidad. Para esto, se requiere tomar decisiones, para aplicar ciertos conocimientos adquiridos en la Ingeniería y cumplir con los objetivos establecidos, Margarit (1970). La Ergonomía y la funcionalidad del diseño mecánico son dos puntos importantes por considerar, ya que estos más allá de darle una mejor vista al patrón geométrico, aumentarán la eficiencia que se podrá obtener con él en el área de inspección y calidad, Rodríguez (2005). La organización y el fácil manejo de un instrumento ayudará a que sea más eficiente la realización de ciertas actividades y el hecho de tener dicho instrumento bien maquinado, sin errores, con una buena selección de material y/o tratamientos térmicos o termoquímicos apropiados dará una mejor funcionalidad al producto. Además, mejorará en factores como lo puede ser su vida útil del patrón. El presente proyecto aborda el diseño de un patrón para la optimización en tiempos de inspección en jeringas de insulina con capacidad de 1 mililitro por motivo de la pérdida de tiempos en empaquetar y transportarlas, dado que se cuenta con 5 filtros que se pretenden cambiar a uno solo. Hasta hace poco el empaquetamiento era poco importante desde la perspectiva de venta de un producto. Hoy en día, se habla mucho del empaque como un sistema coordinado que logra eficientizar los tiempos en una empresa, Cubillos (2009).

PROBLEMATICA

Dado que se detectó en el departamento de calidad una deficiencia en el tiempo de inspección, debido a que la secuencia de tiempos y movimientos del producto se traslada a través de cinco áreas de inspección distintas, empaquetándose la jeringa cada vez que sale y llega a cada una de las áreas de inspección. Haciendo necesario el diseño de un nuevo patrón.

Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de ingeniería Mecánica y Eléctrica, Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, Unidad Profesional Adolfo López Mateos "Zacatenco".
2019360018.ipn@gmail.com, guiurri@hotmail.com,
romerobeatriz97@hotmail.ipn.mx, dcarbajal12200@alumno.ipn.mx,
rmanuelj1800@alumno.ipn.mx, cmiguelr1800@alumno.ipn.mx.





El cual englobe todas las inspecciones necesarias que se efectúan en las jeringas para su inspección en un solo filtro de calidad, se mantendrán tolerancias estrictas para mantener su calidad dimensional, el patrón estará conformado por 10 partes, las cuales estarán sujetas por 11 tornillos y 1 tuerca.

ANTECEDENTES

Los bloques patrón o bloques maestros de precisión son herramientas estándar primarias vitales para el control de calidad dimensional en la fabricación de piezas y / o productos mecanizados, que han ido evolucionando para poder incrementar su exactitud. Anteriormente se usaban partes del cuerpo humano para realizar medidas, tales como pie, mano, pulgada, brazo.

Como su nombre lo indica, los bloques patrón son piezas usualmente rectangulares, esféricas o cúbicas fabricadas en aleaciones de acero, cerámica (usualmente circonio) o hasta tungsteno, que sirven como referencias dimensionales de distancias lineales, midiéndola entre 2 de sus caras opuestas. Con el paso del tiempo se implementaron diferentes objetos, donde cada tipo de material ofrece distintas prestaciones, así como diferentes costos para cubrir todas las necesidades de precisión en los trabajos de valuación dimensional, Piñeiro (2000).

Cuando se tiene un correcto conocimiento de los bloques patrón y de las magnitudes de influencia que les afectan, estos permitirán desarrollar procedimientos de calibración válidos, y por lo tanto asegurar la trazabilidad de las medidas efectuadas.

DESARROLLO

Diseño del Sistema Mecánico, para la creación del patrón geométrico se tomaron diversas consideraciones, todo para que este cumpla con su función principal. El diseño de este sistema mecánico inicia desde el planteamiento de una problemática, la cual es mejorar y dar mayor eficiencia al departamento de inspección y calidad en una empresa dedicada a la fabricación de jeringas de Insulina. Para el diseño de este patrón fue indispensable considerar así el material a utilizar, para cada una de sus partes, además de planear el despiece de este patrón para que cada sección pueda cumplir con una tarea distinta sin afectar a las otras.

El patrón diseñado es del grupo pasa – no pasa, para que, al momento de querer revisar alguna sección de la jeringa, simplemente con el uso del patrón se comparen las medidas establecidas para las jeringas y las establecidas en el patrón dándonos así la posibilidad de seleccionar las jeringas que cumplen las medidas estándares establecidas por la propia empresa.

Para la propuesta de mecanismo, se diseñará un patrón pasa – no pasa con la intención de ser implementado en una empresa dedicada a la fabricación de jeringas de insulina, ya que actualmente el departamento, al contar con diferentes áreas enfocadas cada una de ellas a la revisión de una sección distinta de la jeringa hay una pérdida en tiempos, los cuales, al implementar este patrón serán eliminados o al menos reducidos. Estos tiempos muertos son dados por empaquetamiento y traslado de lotes de departamento en departamento.

Cada una de estas áreas de inspección tiene la finalidad de revisar a través de patrones individuales ciertas partes de las jeringas de insulina.

Para poder presentar el análisis parte por parte del patrón geométrico será indispensable presentar de igual forma las partes a inspeccionar de las jeringas de insulina, como se puede observar en la Figura 1. Se presentan 6 secciones de la jeringa que se podrán inspeccionar de manera cuidadosa y eficiente con ayuda del patrón. Estas secciones son: El pivote o punta de la jeringa (P), diámetro interior del cuerpo de la jeringa (d), diámetro exterior del cuerpo de la jeringa (D), diámetro de la base (Db), espesor de la base (E), y el reborde con el que cuenta la base (R).

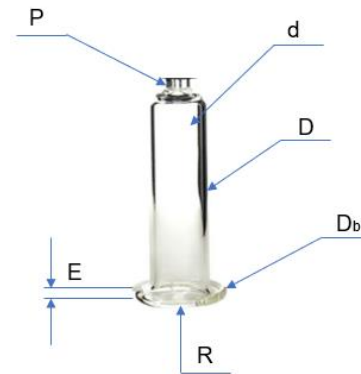


Figura 1.- Partes a inspeccionar en la Jeringa de insulina

Considerando que cada área tiene un patrón individual para indicar si las partes inspeccionadas están dentro de las tolerancias dadas por la empresa, en este trabajo se efectúa la unión de esos patrones en uno solo, con un nuevo diseño, para poder realizar la inspección de las demás áreas en una sola. Este tendrá la finalidad de verificar las dimensiones de las jeringas considerándose sus límites de tamaño tanto superior como inferior, de acuerdo con las tolerancias especificadas por la empresa. Se propone la fabricación de este patrón en conjunto ya que este es uno de los métodos más rápidos para medir y comparar medidas, fijándose a los límites de las tolerancias de las partes, todas las mediciones son efectuadas de forma manual por operarios.

FUNCIONAMIENTO Y PARTES QUE COMPONEN EL PATRÓN

Base de la O

Esta pieza será la más grande en dimensiones de todo lo que conforma al patrón. Su principal objetivo será dar soporte y en donde se podrán colocar las demás piezas individuales. Esta pieza será del material SAE AISI 1018, por la principal razón de que en ella no habrá contacto directo con las jeringas y no afectará la inocuidad, el cual es uno de los factores más importantes por considerar; además no habrá un manejo que pueda afectar o maltratar la pieza.



De igual forma en esta pieza se considera el espacio de trabajo en el cual será colocada. En el diseño realizado de esta pieza se encuentran, además de las acotaciones de medidas para su fabricación, sus tolerancias a respetar para colocar la pieza del centro (Pieza O) con las tolerancias de $+0.20$ y -0.10 milímetros y cotas señalando roscas interiores, con la denominación M4 y M3, la cual hace referencia a roscas de tipo métrico.

Estas roscas interiores serán utilizadas para poder colocar tornillos Allen M4 y M3.

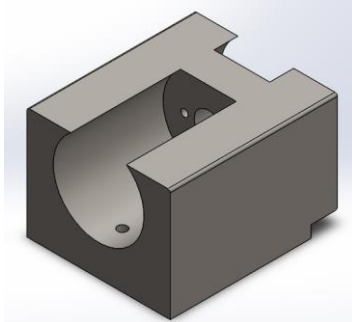


Figura 2.- Base de la O, diseño propio elaborado en Solid Works 2019 Estudiantil

Tapa

Este soporte será colocado en la parte trasera de la base de la O, con el objetivo de sostener el eje de lectura y el eje grande los cuales atravesarán la base de la O y la pieza O, teniendo cierta movilidad, la cual estará limitada por esta base y con la ayuda de una tuerca roscada al eje grande por uno de sus extremos. La pieza será de acero inoxidable 316L, ya que es una pieza con el objetivo de dar sostén por lo que se requiere que sea un acero más duro, para no provocar algún desgaste que afecte la funcionalidad del patrón. En esta pieza se encuentran 2 barrenos de un mismo diámetro con avellanado para tornillos Allen M3 cabeza plana, los cuales estarán para poder fijar esta pieza a la base principal.

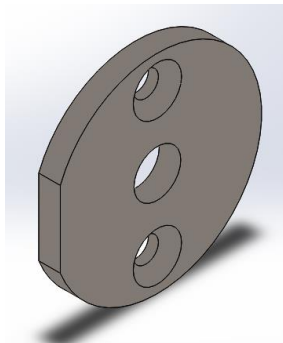


Figura 3.- Tapa, diseño propio elaborado en Solid Works 2019 Estudiantil

Diámetro interno

Esta pieza será la primera con la que tenga contacto la jeringa, siendo esta razón por cual será fabricada de acero inoxidable 316L, su función principal será comparar la dimensión del diámetro interno del cuerpo de la jeringa, por lo cual, deberá respetar cierta tolerancia en uno de sus extremos (en donde se comparará la dimensión), la cual va desde $+0.01$ y 0 milímetros, para poder ejecutar el trabajo de manera correcta, estas tolerancias son dadas por la propia empresa y normas interinas que ellos manejan. Para ello, la jeringa será introducida en el cilindro de la pieza en O de la pieza hasta llegar al anillo que servirá como tope y así cumplir con la siguiente función, la cual será la del eje de lectura.

La pieza estará colocada en la parte frontal de la base principal, roscada por uno de sus extremos al eje de lectura, esta rosca será denominada por la designación M3. Además, la acotación que hace referencia al acabado superficial que deberá tener en uno de sus extremos marcándose la superficie con rugosidad (Ra) y su valor en micras.

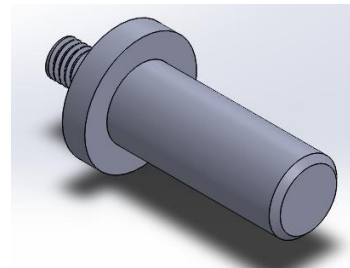


Figura 4.- Diámetro interno, diseño propio elaborado en Solid Works 2019 Estudiantil

Eje de Lectura

Una vez que la jeringa fue colocada en la pieza del diámetro interno, con ayuda del tope que se encuentra en él, la jeringa empujará al eje de lectura hasta llegar al interior de la O, y con ayuda de esta pieza poder comparar la dimensión del diámetro exterior de la base de la jeringa. La función principal de este eje es que al tener el recorrido con la jeringa pueda introducirse e indicar con ayuda de un perno incrustado en él si la dimensión del diámetro de la base es el correcto o entra dentro de los parámetros. Además del material a utilizar será un acero inoxidable 316L.

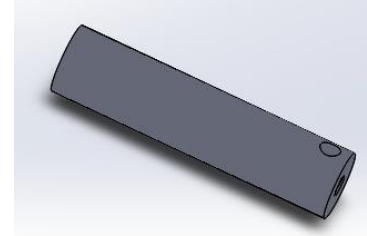


Figura 5.- Eje de lectura, diseño propio elaborado en Solid Works 2019 Estudiantil

Eje grande



La función del eje grande será que al estar roscado por uno de sus extremos al eje de lectura apoyará a este con el recorrido que deberá hacer para efectuar la comparación del diámetro de la base. Básicamente será una guía para lograr el recorrido a través de la pieza O y de la base principal. Por el otro lado estará roscada en él una tuerca, la cual ayudará para limitar el recorrido que tendrá este, su material será acero inoxidable 316L, señalando que sus roscas métricas serán designadas por la acotación M5 por ambos lados.

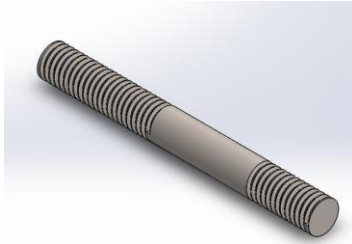


Figura 6.- Eje grande, diseño propio elaborado en Solid Works 2019 Estudiantil

Pieza O

En ella, se encuentran 3 secciones las cuales servirán para tomar medida del diámetro externo de la base, estas secciones tendrán cierta tolerancia que va de entre +0.02 y -0.02 milímetros para su calibración. El modo de empleo será con ayuda de las piezas ya mencionadas (eje de lectura y eje grande) ya que estas servirán de guía para la jeringa al ser introducida, dentro de esta pieza. Hasta este momento se habrá tomado ya la segunda comparación para la inspección de las jeringas. Es importante recalcar que de igual forma se utilizará un acero inoxidable 316L para asegurar su vida útil y no contaminar de alguna forma a la jeringa.

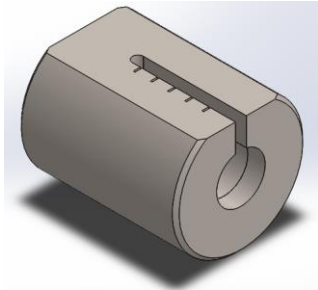


Figura 7.- Pieza O, diseño propio elaborado en Solid Works 2019 Estudiantil

Pieza corte en T

Esta pieza tendrá un corte en forma de T, el cual servirá para efectuar la comparación del cuerpo de la jeringa (diámetro exterior del cuerpo), estará colocada sobre la base principal. La forma de empleo será colocando la jeringa verticalmente y de esta forma pasarla entre el corte en T.

Será necesario ya haber comparado el diámetro de la base ya que este deberá pasar por las ranuras inferiores de ambos dados, hechas específicamente para que la base pase sin problemas, considerando las tolerancias para esta ranura que va desde +0.02 y 0 milímetros. De igual forma, como la jeringa estará en contacto directo con esta pieza será indispensable hacer la pieza de acero inoxidable 316L. Además de la tolerancia marcada para la ranura inferior, se deberá respetar una tolerancia de +0.50 y 0 milímetros a lo ancho del corte en T.

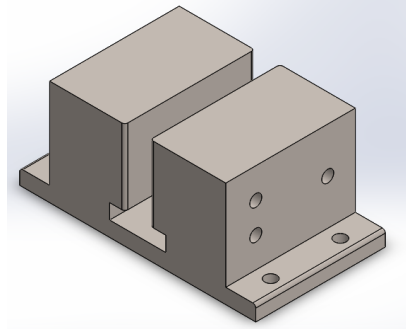


Figura 8.- Pieza corte en T, diseño propio elaborado en Solid Works 2019 Estudiantil

Base del patrón

Esta pieza será colocada como la base principal del patrón, servirá como apoyo para las demás piezas que lo componen y poderlas colocar en su posición. Esta estará sujeta con 6 tornillos Allen para dar estabilidad tanto a ella como a las demás piezas que estarán sujetas en esta. El material del que estará hecha será SAE AISI 1018.

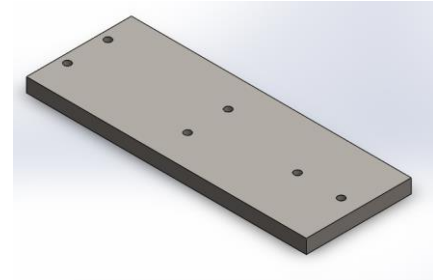


Figura 9.- Base del patrón, diseño propio elaborado en Solid Works 2019 Estudiantil

Pieza de lecturas

Colocada a un costado de la pieza corte en T, servirá para comparar el reborde de la base de la jeringa. El reborde es la saliente lisa de la base circular de la jeringa, haciéndola así similar a un ovalo. Para la inspección de esta sección, la pieza tendrá una pieza de apoyo para poder tomar la medida del reborde.



En la figura 10 se muestra como tiene un pequeño escalón, el cual sirve para saber si el reborde está dentro de la tolerancia.

La pieza deberá respetar las tolerancias de $+0.01/-0.01$ milímetros en la sección donde se tomará la comparación del reborde para saber si este está dentro de los parámetros, si al colocar la jeringa llega hasta la parte inferior significa que el reborde está pequeño, lo ideal será que quede en el escalón. El material que se utilizará es un acero inoxidable 316L de igual forma, pues habrá un contacto directo entre la jeringa y la pieza.

Para inspeccionar el espesor del reborde de la jeringa. Aquí la jeringa se coloca acostada para poder introducir el reborde en la parte superior.

En esta sección de la pieza, donde se hace la comparación del espesor es importante considerar las tolerancias basadas en las normas internas de la empresa las cuales van de $0/-0.02$ milímetros únicamente en esta sección de la pieza para considerar si alguna jeringa pasa o no pasa los rangos de tolerancia.

Continuando con el pivote o punta de la jeringa, siguiendo el principio de funcionamiento de la pieza, ya que se introduce el pivote por la ranura superior de la ranura que se encuentra hasta la parte derecha, para que esta nos pueda indicar si la punta está demasiado pequeña (si es que llega al fondo de la ranura rectangular) o si es del tamaño adecuado (si al colocar la jeringa queda en el escalón de la ranura). Es importante considerar las tolerancias ($+0.05$ y 0 milímetros para ambas secciones), ya que estas serán las que nos indiquen si la jeringa inspeccionada pasa o no pasa.

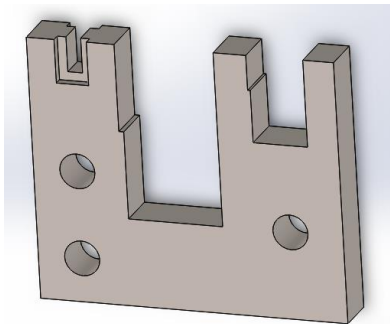


Figura 10.- Pieza de lecturas, diseño propio elaborado en Solid Works 2019 Estudiantil

Perno

Estas son piezas metálicas que forman parte de algún tipo de dispositivo mecánico la cual es empleada para sujetar o detener una o más partes de algún mecanismo. Para este caso, se colocará un perno en el eje de lectura con el objetivo de indicar la lectura al momento de inspeccionar el diámetro de la base de la jeringa.



Figura 11.- Perno, diseño propio elaborado en Solid Works 2019 Estudiantil

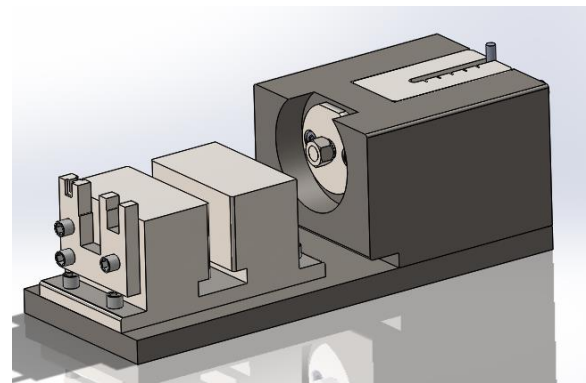


Figura 12.- Ensamble del patrón, diseño propio elaborado en Solid Works 2019 Estudiantil

RESULTADOS

Finalmente, con ayuda del software de Solid Works se diseñaron todas las partes del patrón con las cuales se inspeccionara a la jeringa, posteriormente se elaboró una simulación del funcionamiento final que realizara el patrón en la inspección de cada una de las partes de la jeringa, pudiendo apreciar la solución a la problemática planteada, de acuerdo con lo establecido y al implementarse se tendrá una reducción de tiempos en el departamento de calidad hasta de 50 minutos, esto debido a que por cada estación se perdían alrededor de 10 minutos y ahora al contar con una sola estación la reducción en los tiempos de empaquetamiento y traslado fueron reducidos.

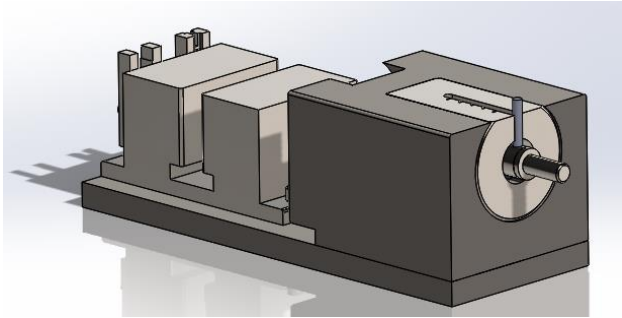


Figura 13.- Ensamble final del patrón, diseño propio elaborado en Solid Works 2019 Estudiantil

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- [1] Cubillos, Rodríguez, M. C., & Rozo Rodríguez, D. (2009). El concepto de calidad: Historia, evolución e importancia para la competitividad. *Revista de la Universidad de la Salle*, 2009(48), 15-23.
- [2] Margarit, J. (1970). Morris Asimow: Principi di progettazione. *Cuadernos de arquitectura*, 121-124.
- [3] Rodríguez, Alarcón, R., (2005). Diseño de una Máquina Desfibrador de Desperdicio Textil (Telas Base Acrílico o Poliéster) para Obtener un Producto conocido como Borra. Tesis de Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica del Instituto Politécnico Nacional, 58-61
- [4] Piñeiro, M. M. (2000). *Metrología*, Universidad de Oviedo.

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Rodrigo García García: Alumno de Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica del Instituto Politécnico Nacional, ESIME, SEPI Zacatenco México.

Guillermo Urriolagoitia Sosa: Ingeniero Mecánico egresado de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Adolfo López Mateos “Zacatenco”. Maestría En Ciencias en el área de Diseño Mecánico con tema en Mecánica de la Fractura en la Sección de Estudios de Posgrado e investigación en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y eléctrica del Instituto Politécnico Nacional. Maestría en Ingeniería Mecánica con tema en Fatiga por Frotamiento Egresado de la Universidad de Oxford Brookes. PhD Doctorado en filosofía con tema de Esfuerzos Residuales en la Universidad de Oxford Brookes. Actualmente Profesor Investigador de la sección de estudios de posgrado e investigación en la escuela superior e Ingeniería Mecánica y eléctrica del Instituto Politécnico Nacional.

Beatriz Romero Ángeles: Ingeniero Mecánico egresada de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Unidad Adolfo López Mateos “Zacatenco”. Maestría en Ciencias en Mecánica no Lineal en la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional. Doctorado en Arresto de Grietas en la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Actualmente Profesor Investigador de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional

David Esaú Carbajal López: Alumno de Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica del Instituto Politécnico Nacional, ESIME, SEPI Zacatenco México.

Rolando Manuel Jose: Alumno de Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica del Instituto Politécnico Nacional, ESIME, SEPI Zacatenco México.

Carlos Elias Miguel Ruiz: Alumno de Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica del Instituto Politécnico Nacional, ESIME, SEPI Zacatenco México.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Politécnico Nacional Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Sección de Estudios de Posgrado e Investigación Por permitirme ser parte de esta gran institución desde la licenciatura y ahora en el posgrado que siempre me ha brindado el apoyo necesario para desarrollar y concluir mis trabajos de investigación.

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)

Por el apoyo económico otorgado durante el desarrollo de este trabajo de investigación.

A mis asesores el Dr. Guillermo Urriolagoitia Sosa y la Dra. Beatriz Romero Ángeles por su apoyo, por el tiempo, la paciencia y la confianza brindada durante la realización de este trabajo de investigación.



Cámara climática (biotopo) para crecimiento de diversas especies con efecto invernadero

Dámaris Carmen García García, Cintia Elí Hernández García, Iván Alberto Vértiz Maldonado, Julio César Ruíz Martínez, Milton Uri Bautista Garrido, Olga Mora Rodarte

RESUMEN

La necesidad de analizar nuevas técnicas en la búsqueda de alternativas sustentables para la producción en los alimentos se ha ido incrementando en los últimos tiempos de manera progresiva, debido a las cada vez más sobre explotadas condiciones a que se someten suelos y agua en las diferentes fases de crecimiento de los productos perecederos.

El Proyecto tiene como finalidad generar un sistema sustentable. Como primera etapa, con la creación de un biotopo climático de bajo coste para crecimiento controlado de diversas especies que permita un entorno adecuado para su supervivencia y de coexistencia.

Este trabajo aborda el diseño, dimensionamiento, la instrumentación y los diferentes elementos que componen el sistema de control del biotopo. Los resultados y conclusiones permiten validar el diseño planteado quedando, el biotopo desarrollado, como una herramienta útil para obtener indicadores óptimos de reproducción ante diferentes condiciones climáticas.

Al tener en cuenta variables críticas como la humedad y la temperatura. El control por aplicar sobre estas variables debe tener en cuenta las condiciones ambientales y las diferentes cargas térmicas que se pueden generar, agregar o extraer del interior del espacio que se desea controlar. Se debe diseñar un control adecuado de temperatura, humedad relativa y pH, que permita usar estos factores para el desarrollo de plantas y especies animales a su favor, al lograr evitar el estrés y favorecer así su desarrollo y reproducción. Estos controles deben estar implementados dentro del mismo biotopo para lograr una temperatura y humedad uniforme en todo el recinto, o cambios despreciables de estas variables dentro del mismo, acercándose o manteniéndose en un valor requerido.

Palabras clave: sustentable, óptimas, especies, biotopo, simulación, identificación de procesos.

ABSTRACT

The need to analyze new techniques in the search for sustainable alternatives for food production has been progressively increasing in recent times, due to the increasingly over-exploited conditions to which soils and water are subjected in the different phases. growth of perishable products.

The Project aims to generate a sustainable system. As a first stage, with the creation of a low-cost climatic biotope for controlled growth of various species that allows a suitable environment for their survival and coexistence.

This work deals with the design, sizing, instrumentation and the different elements that make up the control system. The results and conclusions allow validating the proposed design, leaving the developed biotope as a useful tool to obtain optimal reproduction indicators under different climatic conditions.

By considering critical variables such as humidity and temperature. The control to be applied to these variables must consider the environmental conditions and the different thermal loads that can be generated, added or extracted from the interior of the space to be controlled. An adequate control of temperature, relative humidity and pH must be designed, which allows these factors to be used for the development of plants and animal species in their favor, by avoiding stress and thus favoring their development and reproduction. These controls must be implemented within the same biotope to achieve a uniform temperature and humidity throughout the enclosure, or negligible changes in these variables within it, approaching or maintaining a require value.

Keywords: sustainable, optimal, species, biotope, simulation, process identification.

INTRODUCCIÓN

Las cámaras de ambiente controlado son recintos en los que se crean de forma artificial las condiciones necesarias para que se lleven a cabo algunas funciones de los seres vivos, como la micropropagación y el crecimiento de plantas, entre otras (Álvarez et al., 2007). Las cámaras de ambiente controlado presentan un amplio rango de aplicaciones, como simulación ambiental, envejecimiento acelerado, control de calidad, investigación de materiales y sistemas, estudio de estabilidad de productos, acondicionamiento húmedo, y análisis de comportamiento de especies animales y vegetales, entre otras. Las cámaras de ambiente controlado se diseñan en función de cada aplicación, teniendo en cuenta variables fundamentales tales

* División de Ingeniería en Nanotecnología, División de Ingeniería Industrial, División de Ingeniería en Mecatrónica, División de Administración y Gestión de Pymes, Universidad Politécnica del Valle de México.





como la capacidad de enfriamiento; la capacidad de calentamiento; la capacidad de humidificación. “Estos ambientes controlados resultan de gran utilidad, ya que facilitan la obtención de un producto en entornos diferentes a los habituales y durante diferentes estaciones climatológicas” (Álvarez et al., 2007), ya que permiten independizar el clima interno del exterior. Para la creación de un biotopo de ambiente controlado se debe contar con una fuente de frío, una de calor y un panel de iluminación para poder obtener las condiciones de temperatura, humedad e iluminación que simulan las del ambiente natural. El panel de iluminación está compuesto por leds cuyo espectro de emisión es adecuado para el normal crecimiento y desarrollo de los cultivos. El biotopo se encuentra separado del exterior por una estructura transparente normalmente elaborada de vidrio o policarbonato que actúa como aislamiento térmico. Este aislamiento térmico no evita la necesidad de extraer a través del acondicionador de aire la carga de radiación lumínica introducida en la cámara para permitir el crecimiento de las plantas y otras especies de manera óptima (Cogliatti, 2008). El desarrollo alcanzado en esta área ha permitido obtener un biotipo de clima controlado que permite sólo el paso de la radiación fotosintéticamente activa, la cual logra disminuir la carga térmica y por lo tanto el consumo de energía por concepto de climatización (Álvarez et al., 2007).

Este proyecto surgió de la necesidad de buscar y analizar las condiciones que permitan el desarrollo y convivencia óptima para lograr un sistema sustentable de tres especies distintas (lombriz (eisenia fetida), lechuga baby (*Lactuca sativa*) y acocil (*cambarellus*)).

Para ello se tuvo que realizar una cámara climática o biotopo que permite manejar los indicadores (temperatura, humedad, iluminación y pH) a partir de la nivelación de los estándares necesarios para la convivencia de tres especies distintas de manera autónoma y así obtener datos óptimos durante el desarrollo de éstas.

De ese modo y, partiendo de la teoría del desarrollo óptimo de cada especie en condiciones ideales, el desarrollo de estas dentro de la cámara climática o biotopo se expresa como una estimación de aumento de la población que permite que cada una dependa de la otra o, dicho de otro modo, como un sistema sustentable.

Para lograr estas estimaciones, se recurre a utilizar cada especie supervisada con las valoraciones cuantitativas de los indicadores siguientes: pH entre 6.0 y 7.0, temperatura de entre 20° y 28° grados Celsius, y la iluminación baja, humedad para la especie terrestre del 75 al 80%, [7,8], extrayendo muestras de producto en distintos días previos al desarrollo teórico y clasificando el producto en función de una valoración de la calidad umbral (*CLIMAVER® NETO*, n.d.). Estos ensayos requieren cámaras climáticas dedicadas y múltiples extracciones de muestras para analizar, además de la repetición de los experimentos con diferentes variaciones de conservación.

Sin embargo, la disponibilidad limitada de cámaras y la dificultad de alterar las condiciones de conservación para realizar los experimentos han motivado el desarrollo de este trabajo, consistente en el desarrollo de una cámara climática portátil de

coste reducido, donde es posible alterar las condiciones de temperatura y humedad dadas mediante un sistema de control.

Como resultado de este análisis, se determinó como primera etapa la creación de un prototipo de cámara climática para crecimiento controlado de diversas especies con efecto invernadero que permita un entorno adecuado para lograr la supervivencia sustentable (biotopo).

El biotopo está fabricado a partir de un conducto rectangular realizado con láminas de acrílico color verde que se encarga de aislar los productos y mantener así su temperatura independiente de perturbaciones externas no provocadas. Las condiciones térmicas dentro del biotopo se obtienen mediante la impulsión de aire, cuya temperatura y caudal puede ser modificado mediante acciones de control. Para mantener unas condiciones térmicas homogéneas en el interior, se ubicaron medios porosos para generar un flujo pistón uniforme.

El sistema se ha diseñado para que sea capaz de reproducir un ciclo temperatura-tiempo. De este modo, es posible programar una determinada evolución térmica durante un número de días concreto para poder extraer las muestras de producto y proceder a su análisis cualitativo. Estos ensayos permiten establecer correlaciones entre las variaciones observadas dentro de la cámara climática o biotopo.

El trabajo describe el dimensionamiento y diseño del biotopo la identificación del modelo representado por la función de transferencia, las acciones de control y los sensores, así como el ajuste de los distintos parámetros del controlador ensayados para obtener unas determinadas especificaciones dinámicas y permanentes que validen la utilidad de éste.

El biotopo funcionará a través de un temporizador que estará adaptado al humidificador para que así este pueda hacer su actividad de manera controlada a través de un tubo pvc que va a rociar el agua, Termoeléctrico Peltier de enfriamiento, refrigeración que ayudará a estabilizar la temperatura cuando esta no se encuentre en las condiciones necesarias. Colocaremos 3 capas las cuales consisten de una especie endémica denominada por su nombre científico como *Cambarellus* (acocil), *Lactuca sativa* (lechuga baby) y *Eisenia Foetida* (lombriz roja californiana).

ANTECEDENTES

Fueron los científicos quienes llamaron la atención internacional sobre las amenazas planteadas por el efecto invernadero. La historia del descubrimiento científico del cambio climático comenzó a principios del siglo XIX cuando se sospechó por primera vez que hubo cambios naturales en el paleoclima y se identificó por primera vez el efecto invernadero natural.

En los decenios de 1950-60, 1960-70 y 1970-80 se recogieron datos que demostraron que las concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera estaban aumentando muy rápidamente.

En 1988 se creó el Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) por iniciativa de la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). En 1990 este grupo presentó un primer informe de evaluación en el que se



reflejaban las investigaciones de 400 científicos. En él se afirmaba que el calentamiento atmosférico de la Tierra era real y se pedía a la comunidad internacional que tomara cartas en el asunto para evitarlo.

Las conclusiones del IPCC alentaron a los gobiernos a aprobar la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. En comparación con lo que suele ocurrir con los acuerdos internacionales, la negociación en este caso fue rápida. La Convención estaba lista para firmar en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo que se celebró en 1992 en Río de Janeiro, conocida como Cumbre para la Tierra.

Las observaciones del IPCC, por el hecho de reflejar un consenso científico mundial y ser de carácter apolítico, representan un contrapeso útil en el debate, con frecuencia muy politizado, sobre qué se debe hacer con respecto al cambio climático. Los informes del IPCC se utilizan con frecuencia como base para las decisiones adoptadas en el contexto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), y desempeñaron un papel importante en las negociaciones que dieron lugar al Protocolo de Kyoto. (*Inicio Internacional Antecedentes Históricos*, n.d.)

Equipos de temperatura controlada actuales.

Los equipos de temperatura controlada son dispositivos donde se recrea un clima combinando los valores de temperatura y humedad relativa; en una cámara de temperatura controlada estos parámetros se distribuyen de forma homogénea en el interior. La humedad relativa es obtenida por medio de un generador de vapor, algunas cámaras, además, cuentan con un sistema de refrigeración que permite el control de temperaturas por debajo de la temperatura ambiente. Para garantizar que no existan zonas frías o calientes en el interior de la cámara y que se tenga una temperatura y humedad homogéneas, el flujo de aire debe ser forzado por un ventilador.

La mayoría de las cámaras están fabricadas de aluminio y acero inoxidable para evitar la corrosión, en la puerta deben tener un sello hermético para conservar las condiciones en su interior mientras que en el exterior cuentan con un panel de control de programación con lectura digital que monitorea y controla todo el tiempo las condiciones de temperatura y humedad. En el mercado existen varios diseños de cámaras como los que se muestran en la Figura 1.1, que se adaptan a la necesidad específica del cliente en cuanto a tamaño, rango de temperatura necesario, tipo de control, etc. Además, cuentan con diferentes tecnologías, como iluminación LED, alarmas, etc.

Las cámaras de temperatura y humedad controlada pueden ser utilizadas en una gran variedad de aplicaciones, incluyendo estudios de alimentos, pruebas de envejecimiento acelerado, estudios de genética, investigaciones virales, estudios del medio ambiente, bioquímica, estudios de crecimiento, y para usos generales de laboratorio donde se requiera un ambiente de temperatura y humedad controlada.

En la actualidad existen cámaras de temperatura que incorporan la tecnología Peltier que está especialmente adaptada, ya que realiza en un solo sistema sin transiciones los procesos de calentamiento y

refrigeración prácticamente sin vibraciones y de forma muy silenciosa. De este modo, no solo colaboran con la protección del medioambiente, sino que además suponen hasta un ahorro de un 90 % en los gastos de operación con respecto a los sistemas por compresor (Hernández, 2019).

Desventajas:

- Si se presenta una falla en alguna de estas cámaras de temperatura, el mantenimiento puede provocar gastos elevados para el laboratorio.
- El precio de una cámara de temperatura es muy elevado.
- En términos de tamaño, es difícil encontrar un equipo que se adapte a las necesidades de espacio del laboratorio.
- No se puede realizar ninguna modificación, ya que perdería la garantía

DESARROLLO DEL TEMA

Para alcanzar los objetivos del proyecto, se realizaron las siguientes tareas:

Diseñar una cámara de crecimiento con acrílico, la cual deberá contener las separaciones para cada una de las especies y sus respectivos sensores con los elementos necesarios para la medición y regulación de humedad (humidificador), temperatura, ph y control de riego.

La cámara funcionará través de un temporizador que estará adaptado al humidificador para que así este pueda hacer su actividad de manera controlada a través de un tubo pvc que va a rociar el agua, Termoelectrico Peltier de enfriamiento, refrigeración que ayudará a estabilizar la temperatura cuando esta no se encuentre en las condiciones necesarias. Colocaremos 3 capas una para cada especie, las lombrices se encontrarán en la parte inferior seguidas de la especie endémica y la lechuga se encontrara en la parte superior la pecera de los acociles para así generar un sistema de hidroponía y a la vez sustentable, todo esto dentro de la cámara climática de crecimiento con efecto invernadero.

Cabe mencionar que esta cámara tendrá tres sensores, un sensor para determinar el porcentaje de humedad, otro el índice de ph, y por último el rango de temperatura ambiente

Estos funcionaran de la siguiente manera:

Básicamente va a consistir de un sensor que emite la información recabada, un segundo sensor que es el que va a recibir la información y un servidor. El sensor que va a emitir la información requerida seguida de un transmisor llámese GMS - GPRS que es el que le hará llegar la información al servidor y así realizar una programación en C para programar los comandos de los transmisores.

Hecha a base de estas características las cuales fueron comparadas en una búsqueda tecnología con cámaras ya patentadas.

- Tubo pvc
- Puertas abatibles horizontales
- Celula peltier de una manera controlada
- Acrílico de 6mm y 3mm
- Perfil de Aluminio estructural 30x30 con una ranura de 8mm, aleación 6105 (barra de 3 m)



- Perillas
- Sensores para medición de humedad, ph y temperatura
- Abrazaderas
- Bisagras de latón 4 remaches
- Manguera tipo oruga flexible
- Sellador acrílico
- Pasto sintético
- Ventiladores Termoeléctrico Peltier de enfriamiento refrigeración
- Humidificador

RESULTADOS Y ANÁLISIS

El biotipo contendrá en la parte de abajo la lombriz y posteriormente los acociles seguida de la lechuga baby.

Esta lechuga se nutrirá de los desechos orgánicos de los acociles y la lombriz. La lombriz se alimenta entre otras cosas de la lechuga y finalmente los acociles se alimentan de la lombriz.

Dentro de la cámara el principal reto es controlar la temperatura óptima para las tres especies a través del Termoeléctrico Peltier de enfriamiento refrigeración y con el humidificador tener un previo control del suministro de agua.

En el estanque de agua dulce se colocará una población total de 13 acociles este estanque tendrá una inclinación que permita el flujo del agua la cual al final retorna previo sistema de filtrado con una bomba la cual limpia los desechos orgánicos de la especie, siguiendo el sistema del prototipo en la parte superior irán las lechugas baby.

- Control automatizado de la temperatura y la humedad
- Puertas de fácil manejo para las operaciones que se van a realizar
- Mejor desarrollo y calidad en el crecimiento de 3 especies (acuática, terrestre y vegetal)
- Control de plagas
- Tener un ambiente controlado
- Evitar pérdida de agua
- Control de ph
- Sistema de riego
- Suministro de agua en cantidades necesarias
- Alta resistencia corrosiva
- Templado termico
- Termoeléctrico Peltier de enfriamiento refrigeración
- Efecto invernadero
- Ambiente cerrado
- Cultivo hidropónico



Figura 1. Cámara climática en proceso de rediseño

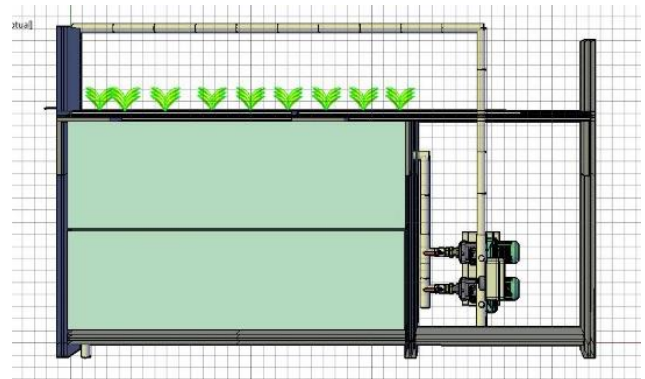


Figura 2. Diseño planeado que irá dentro de la cámara

CONCLUSIÓN

Existen muchas razones para pensar que en un futuro viviremos de una manera más amigable con el medio ambiente. Una de ellas son los diversos proyectos que constituyen verdaderos ejemplos de desarrollo sustentable, ideas que tratan de solucionar un problema humano de manera ingeniosa a la vez que disminuyen el daño ambiental que se causa.

Ante las múltiples crisis que vivimos se pueden proponer como “solución” aplicar nuevas tecnologías, la cámara de crecimiento puede ser una de ellas, al ser un proyecto sustentable se centra en la integridad del medio ambiente que al mismo tiempo su huella de carbono es muy baja.

La conclusión principal que se extrae de este trabajo es que es totalmente factible el diseño de una cámara climática de coste reducido, con un control que permita seguir un determinado ciclo temporal de temperatura. Las limitaciones que se deducen de las especificaciones del control son totalmente compatibles con las características de las condiciones térmicas necesarias para su reproducción.

La construcción de la cámara climática no ha sido una labor simple, puesto que se han escogido unos sensores y actuadores específicos para este proyecto y además se han diseñado en 3D todas las piezas y accesorios necesarios para el correcto su funcionamiento. Cabe destacar, que la complejidad de diseñar una pieza en 3D aumenta cuando no se tienen unas medidas exactas a las que recurrir, ya que no se tiene una visión precisa de cómo va a



ser la pieza hasta que no se imprima. Por lo que, varias piezas se tuvieron que rediseñar porque no cumplían las especificaciones. Los valores de temperaturas observados en los diferentes puntos de medida concluyen que el diseño termodinámico de la cámara es acertado, las dimensiones permiten ubicar tres cajas apiladas de productos hortofrutícolas (standard cardboxes) (...), 2022) entre las dos superficies permeables, lo que dota al ensayo de un número suficiente de ejemplares para realizar los análisis fisicoquímicos. El control del sistema no requirió de demasiados ensayos, debido a que, con ayuda de los cálculos teóricos y simulaciones previas, teníamos un conocimiento aproximado de cómo controlar el sistema.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- Artés-Hernández, F. Factors affecting postharvest quality. 4th International on-line Course on Postharvest and Fresh-cut Technologies. 2019
- Edjabou, M., Petersen, C.; Scheutz, C; Astrup, T.; Food waste from Danish households: Generation and composition. Waste Management Vol 52, 2016
- Cantwel, M.; Kasmire, R.E. Postharvest handling systems: Flower, leafy and stem vegetables. In Postharvest Technology of Horticultural Crops; Kader, A.A., Ed.; UC Davis: Davis, CA, USA, Vol 3311, pp. 423–434. 2002.
- Tsang, Y. P., Choy, K. L., Wu, C. H., Ho, G. T. S., Lam, H. Y., & Tang, V. An intelligent model for assuring food quality in managing a multi-temperature food distribution centre. Food Control. Vol 90, pp. 81- 97. 2018.
- Aung, M. M., & Chang, Y. S. Traceability in a food supply chain: Safety and quality perspectives. Food Control, 39(1), 172-184. 2014
- Díaz-Ruiz, R., Costa-Font, M., López-i-Gelats, F., & Gil, J. M. Food waste prevention along the food supply chain: A multi-actor approach to identify effective solutions. Resources, Conservation and Recycling. Vol 149, pp. 249-260. 2019
- Cantwell, M.; Suslow, T. Lettuce, Chrispead: Recommendations for Maintaining Postharvest Quality. 2002. Available online: <http://postharvest.ucdavis.edu/pfvegetable/LettuceCrispead> Accessed: 2020-1-10
- ASTM. Physical Requirements Guidelines for Sensory Evaluation Laboratories; ASTM International: Philadelphia, PA, USA, 1986
- Torres-Sánchez, R.; Martínez-Zafra, M.T.; Castillejo, N.; Guillamón-Frutos, A.; Artés-Hernández, F. Real-Time Monitoring System for Shelf Life Estimation of Fruit and Vegetables. Sensors 2020, vol 20, 1860
- Martínez-Zafra, M.T. Monitorización de las variables ambientales durante el transporte de productos perecederos para estimar en tiempo real las pérdidas de Calidad. Tesis Doctoral. 2020. Disponibles en: <https://repositorio.upct.es>
- CLIMAVER® NETO. (n.d.). Isover. Retrieved June 17, 2023, from <https://www.isover.es/productos/climaver-neto>
- Astrom, Karl J. Control PID avanzado. 1ªed. Pearson, 2009. ISBN 9788483225110
- Chuk, Daniel. Los sistemas de primer orden y los Controladores PID. 2012 [en línea]. Disponible en: <http://dea.unsj.edu.ar/control2/ControladoresPID.pdf>
- Dorf, Richard C. Sistemas modernos de control. 1ªed. Addison-Wesley Iberoamericana, 1989. ISBN 0201644177
- Ogata, Katshuiko. Ingeniería de Control Moderna. 5ªed. Pearson, 2010. ISBN 9788483229552
- CRBasic Editor: Stand-Alone Installation for CRBasic Editor [en línea]. Disponible en: <https://www.campbellsci.es/crbasiceditor>
- Control de Procesos [en línea]. Disponible en: http://lcr.uns.edu.ar/Control_Procesos/Teor%C3%A1a/Control%20de%20Procesos_cap5.pdf
- Dataloggers y Sistemas Adquisición de Datos [en línea]. Disponible en: <https://www.campbellsci.es/dataloggers>
- LoggerNet: Software de soporte para datalogger [en línea]. Disponible en: <https://www.campbellsci.es/loggernet>
- Pautas para el transporte de alimentos perecederos [en línea]. Disponible en: <https://www.deccoiberica.es/pautas-para-el-transporte-de-alimentos-perecederos/>
- Inicio Internacional Antecedentes Históricos. (n.d.). CCPY. Retrieved June 17, 2023, from <http://www.ccpy.gob.mx/internacional/antecedentes-historicos.php>



Prototipo de prótesis de miembro superior utilizando señales EMG

Roberto Hernández Sánchez Fernando Gudiño Peñaloza*

RESUMEN

El presente proyecto muestra el desarrollo e implementación de un prototipo de prótesis de miembro superior. Esta prótesis puede ser controlada por medio de señales electromiográficas, señales que se producen por la actividad muscular, con el objetivo de replicar el movimiento de cierre y apertura de la mano humana, debido a que es el movimiento básico del ser humano.

Para realizar este proyecto se utilizará el sensor AD8232 para la adquisición de señales. Por medio de Arduino y Python se extraerán las características de interés de una señal EMG para crear de forma electrónica un detector de picos. El detector de picos será de utilidad para crear el controlador ON – OFF con histéresis.

ABSTRACT

This project shows the development and implementation of an upper limb prosthesis prototype. This prosthesis can be controlled by means of electromyographic signals, signals that are produced by muscular activity, in order to replicate the closing and opening movement of the human hand, since it is the basic movement of the human being.

To carry out this project, the AD8232 sensor was used for the acquisition of signals. Using Arduino and Python, the characteristics of interest will be extracted from an EMG signal to electronically create a peak detector. The peak detector will be useful to create the ON – OFF controller with hysteresis.

Palabras claves: Señales EMG, Sensor AD8232, Detector de picos, Controlador ON – OFF con histéresis.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo a la *Organización Mundial de la Salud (OMS 2020) [1]*, se ha contabilizado alrededor de 1000 millones de personas que han sufrido alguna especie de discapacidad. Según el *Instituto Mexicano del Seguro Social (2017) [2]*, la principal causa de amputación es el padecimiento de Diabetes Mellitus tipo 2 y accidentes laborales, de acuerdo a las cifras del *INEGI (2020) [1]*, en el año 2020, 6,200,000 personas sufrieron alguna discapacidad, de las cuales el 53% son mujeres y el 47% son hombres.

Por lo tanto, el objetivo de replicar una prótesis que regrese el movimiento a las personas y que tenga la función de pinza, es un

avance fundamental para futuros proyectos, en los cuales se podría devolver el movimiento completo de la mano que fue amputada.

ANTECEDENTES

De acuerdo a *Mario López (2018) [3]*, “la electricidad está presente de muchas formas en la naturaleza y el cuerpo humano no es la excepción”. Por lo tanto, la señal eléctrica que esta presente en el cuerpo humano y se llama señales bioeléctricas. De acuerdo con el *Instituto de Medicina Johns Hopkins (Johns Hopkins Medicine 2023) [4]*, la *electromiografía* cuantifica la actividad eléctrica que está presente ante la actividad muscular. Para este proyecto, se utilizará la *electromiografía superficial (EMGS)*.

De acuerdo con *Mario López (2018) [3]*, las señales EMGS registran la actividad muscular sobre la superficie de la piel que cubre el musculo, como característica principal es que se ocupan electrodos que son adheribles a la piel y proporcionan una estimación aproximada de la actividad del musculo que se ésta estudiando. Los electrodos que se utilizarán en este prototipo son de cloruro de plata (Ag/AgCl) e hidrogel. De acuerdo a *Amon, Romo y Alexander (2013, 2015, 2007) [5, 6, 7]*, como característica fundamental, el voltaje típico de las señales EMGS es de 0 a 6 mV, con un rango de frecuencias oscilas entre 0 a 500 Hz, en algunos casos las impedancias de entrada son aproximadamente de 10 GΩ.

Actualmente en el mercado existen diferentes tipos de prótesis funcionales que son controlados por señales EMG, algunos de estos ejemplos son las prótesis *I-Limb, Bebionic* y *Luke (2023) [8, 9, 10]*.

Para adquirir las señales electromiográficas se utilizará el sensor *AD8232 (2013) [11]* que es un módulo que incorpora un bloque de acondicionamiento de señales EMG, este bloque permite adquirir, amplificar y filtrar pequeñas señales de voltaje en la presencia de señales con ruido, el beneficio de utilizar este sensor es que implementa un convertidor analógico – digital, lo que permite crear una interfaz entre *Arduino* y el sensor AD8232.

Para tratar la información proveniente del sensor, utilizaremos Python para extraer sus características de interés, estos datos de interés funcionarán para crear de forma electrónica un detector de picos, que se implementara por medio de un controlador ON – OFF con histéresis para controlar el movimiento de nuestra prótesis.

* FES Cuautitlán, Ing. Roberto Hernández Sánchez, Dr. Fernando Gudiño Peñaloza, roberto.her3130@gmail.com, ilciarmin@gmail.com.



DESARROLLO EXPERIMENTAL

Para adquirir las señales EMG del cuerpo, es necesario limpiar la zona muscular con alcohol, para después posicionar los electrodos en el antebrazo. Al momento de tener los electrodos en posición, esta información pasará por el sensor AD8232 que capturaré las señales. Por medio de Arduino se puede visualizar la señal EMG. El diagrama de bloques que explica nuestro primer proceso se puede visualizar en la figura 1

Para tratar esta información y extraer las características de la señal, se realizará una interfaz entre Arduino y Python, donde se buscarán los valores promedio, máximo, mínimo y un valor al 70% del valor máximo de la señal para crear un detector de picos, como se observa en la figura 2, este detector nos ayudará a identificar el comportamiento típico de la señal, regularmente este comportamiento tiene un patrón similar al que se observa en la figura 3, de forma matemática se puede interpretar como la transformada de Wavelet Mexican Hat, sin embargo, en este caso de estudio solamente se visualizará de forma electrónica.

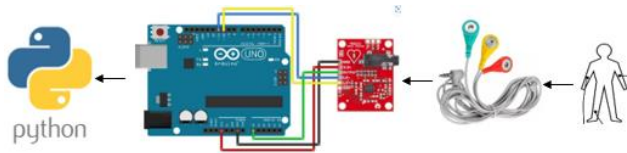


Figura 1.- Diagrama experimental de adquisición y extracción de las características principales de la señal EMG.

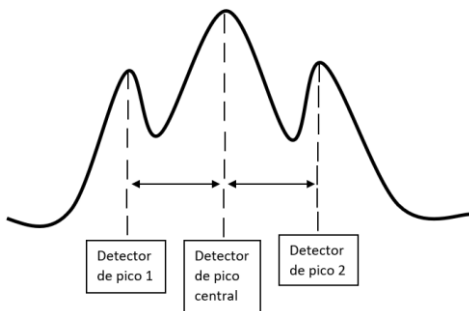


Figura 2.- Detector de picos.

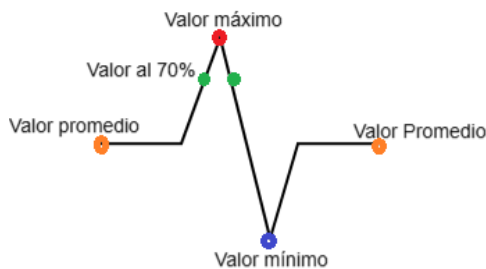


Figura 3.- Comportamiento teórico de la señal EMG.

Al momento de conocer las características de la señal EMG, es que podremos diseñar un controlador ON – OFF con histéresis para el control de la prótesis. Esto se eligió debido a que las señales EMG cambian de forma rápida. El diagrama experimental de la figura 4 muestra la implementación del prototipo.

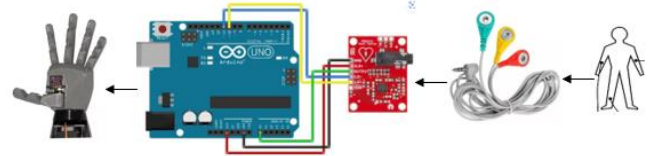


Figura 4.- Diagrama experimental del controlador ON – OFF con histéresis.

ANÁLISIS Y RESULTADOS

Para realizar nuestros experimentos acordes a la figura 1, se desarrollaron 80 experimentos, donde la información se guardaba en archivos txt, estos archivos almacenaban cierto tiempo de información, que va desde los 100, 200, 500 y 1000 ms. Para tema de demostración se escogió un archivo donde se almacenan 200 ms de información que se visualizan en la tabla 1. La figura 5 demuestra el comportamiento a través del tiempo de los valores máximos, mínimos, promedio y al 70% de la señal.

Tabla 1.- Valores de interés para manipulación de datos

Valor máximo	469 mV	Posición (ms)	100
Valor al 70 %	328 mV		47, 120
Valor mínimo	263 mV		54
Valor promedio	365 mV		26, 136, 157

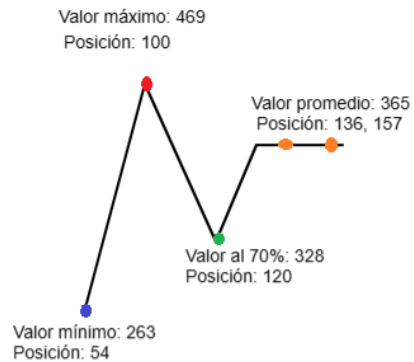


Figura 5.- Comportamiento experimental de la señal EMG en un tiempo de 200 ms.

Promediando los valores que se obtuvieron en las 80 muestras podemos establecer que nuestros valores promedios oscilarán entre 300 mV y 370 mV, un valor máximo superior a los 400 mV y un valor inferior a los 300 mV.



Cada uno de estos valores nos permitirán crear el controlador ON – OFF con histéresis por medio de Arduino. Para crear las variables supusimos un valor promedio de 350 mV, un rango de histéresis de ± 75 mV, con un ± 10 % de tolerancia, nuestro umbral superior estará en un valor de 425 mV, el umbral inferior se ubicará en 275 mV. La figura 6, muestra la gráfica de funcionamiento del controlador con histéresis. La figura 7, muestra el prototipo de prótesis.



Figura 6.- Gráfica experimental del controlador ON – OFF con histéresis.



Figura 7.- Prototipo de prótesis.

CONCLUSIONES

El prototipo de prótesis es funcional para el movimiento de apertura y cierre de la mano, replicando el movimiento más básico del ser humano, con lo cual, cumple su función estimada. La herramienta que nos permitió obtener las características de la señal EMG fue el detector de picos, sin este tratamiento de información no hubiera sido posible identificar cada uno de sus valores. Y sin estos valores hubiera sido un poco complicado crear el controlador con histéresis. La ventaja de utilizar este controlador es que las variaciones de voltaje que se presentan en la prótesis no generan un accionamiento desembocado en los servomotores, ya que solo se activa cuando supera los umbrales superiores e inferiores.

Como trabajo a futuro se necesitaría experimentar con un mejor clasificador de señales, ya sea por medio de alguna red neuronal, clasificador bayesiano o un algoritmo VSM, todo esto dependerá de la cantidad de movimientos que se desean integrar y controlar en la prótesis.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

1. Población. Discapacidad. (s. f.). INEGI. Recuperado 21 de enero de 2023, de <https://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/discapacidad.aspx>
2. Social, I. N. D. D. (s. f.). *En Jalisco devuelven autonomía a personas que han sufrido amputaciones*. Gobierno de México. Recuperado 1 de junio de 2023, de <https://www.gob.mx/indesol/prensa/en-jalisco-devuelven-autonomia-a-personas-que-han-sufrido-amputaciones>
3. López, J. M., Martí, G., Puente Méndez, S. T., Candelas-Herías, F. A., Úbeda, A., & Torres, F. (2018). Implementación y evaluación de un esquema de control mioeléctrico ON/OFF utilizando hardware de bajo coste. Recuperado el 1 de junio de 2023, de [Implementación y evaluación de un esquema de control mioeléctrico ON/OFF utilizando hardware de bajo coste \(udc.es\)](https://www.udc.es/~gimenez/Implementacion_y_evaluacion_de_un_esquema_de_control_mioelectrico_ON/OFF_utilizando硬件_de_bajo_coste.pdf)
4. JHONS HOPKINS MEDICINE. (s. f.). *Electromyography (EMG)*. Recuperado 1 de junio de 2023, de <https://www.hopkinsmedicine.org/health/treatment-tests-and-therapies/electromyography-emg>
5. Amon, Clemens. (2013). Design and Evolution of an EMG-based Recording and Detection System. Institute of Electronic Music and Acoustics. Austria. Recuperado el 2 de junio de 2023, de [TI-Project Thesis Clemens Amon 2013 Design and Evaluation of an EMG-based Recording and Detection System.pdf \(kug.ac.at\)](https://www.ti-project-thesis.clemens-amon.com/2013-Design-and-Evaluation-of-an-EMG-based-Recording-and-Detection-System.pdf)
6. L. (2015). Implementación en FPGA de un clasificador de movimientos de la mano usando señales EMG. *Redes de ingeniería*, 6(1), 85-94. Recuperado el 2 de junio de 2023, de [Vista de IMPLEMENTACIÓN EN FPGA DE UN CLASIFICADOR DE MOVIMIENTOS DE LA MANO USANDO SEÑALES EMG \(udistrital.edu.co\)](https://www.udistrital.edu.co/~luis/Implementacion-en-FPGA-de-un-clasificador-de-movimientos-de-la-mano-usando-senales-EMG.pdf)
7. Romo, H. A., Realpe, J. C., & Jojoa, P. E. (2007). Análisis de señales EMG superficiales y su aplicación en control de prótesis de mano. *Revista avances en sistemas e informática*, 4(1), 127-136. Recuperado el 2 de junio de 2023, de <https://www.redalyc.org/pdf/1331/133116856017.pdf>
8. *Mano biónica i-Limb® Quantum | Össur*. (s. f.). Recuperado 2 de junio de 2023, de <https://www.ossur.com/es-mx/protesica/miembro-superior/i-limb-quantum#overviewContentAnchor>



9. Mano bebionic EQD | La mano protésica más natural. (s. f.). Recuperado 2 de junio de 2023, de <https://www.ottobock.com/es-mx/product/8E70>
10. Mobius Bionics. (s. f.-b). The LUKE Arm. Recuperado 3 de junio de 2023, de <https://www.mobiusbionics.com/>
11. Analog Devices. (s. f.). AD8232. All data sheet. Recuperado 3 de junio de 2023, de <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/527942/AD/AD8232.html>



Desarrollo mecanismos de envasado de productos alimenticios líquidos congelados

Santana Villegas Oziel, Trejo Castillo Daniela Sarahi²

RESUMEN

En el presente artículo presentamos el desarrollo experimental de un sistema de embasado de productos líquidos de fin alimentario, y las proporciones usadas en el producto prueba el cual es comúnmente conocido como bolis según la norma oficial mexicana, tanto así como el Diario Oficial de la Federación, acuerdo por el cual se determinan los aditivos y coadyuvantes en alimentos; el cual consiste en una mezcla de saborizantes para realizar una solución de agua con varios sabores, envasarlos y después congelarlos para su disfrute.

ABSTRACT

In this article we present the experimental development of a system for packaging liquid food products, and the proportions used in the test product which is commonly known as bolis according to the official Mexican standard, as well as the Official Journal of the Federation, agreement by which the additives and adjuvants in food are determined; which consists of a mixture of flavorings to make a water solution with various flavors, pack them and then freeze them for your enjoyment.

INTRODUCCION

La máquina de envasado para productos líquidos consta de varios componentes que permiten la automatización del proceso de envasado. En primer lugar, se coloca el producto líquido en un envase que se transporta a través de un ducto. A continuación, el envase pasa por una cámara de desinfección UV que reduce la carga microbiana y, por tanto, previene la contaminación del producto. Después de salir de la cámara UV, se envasa en una manga plástica. El recubrimiento con la manga proporciona una barrera efectiva contra la entrada de oxígeno, humedad, y otros contaminantes externos, que pueden afectar la calidad y vida útil del producto. Para sellar la manga, se aplica una resistencia. La resistencia eléctrica genera calor que funde la manga, permitiendo la adhesión del material entre sí, cerrando así herméticamente el envase para proteger el producto envasado

ANTECEDENTES

El boli es muy popular y más en las temporadas de calor, como sabemos es muy refrescante es tan rico que nadie se resiste a

saborear uno, una gran ventaja de este increíble alimento es que no necesita muchos ingredientes para su preparación.

El boli nació en la Costa Caribe como una opción refrescante claro que no es solo original de esta región, en otros países como Panamá, México y Venezuela preparan este tipo de congeladas

Antes ese increíble alimento refrescante era preparado de forma artesanal, este consistía en un jugo envasado en una bolsa de plástico, este jugo está hecho a base de fruta y agua y posteriormente este será colocado a etapa de congelado.

El auge de este producto fue en los años noventa, tanto que en Costa Caribe se creó una la frase “Hay boli” (Batista, L. M. 30 de septiembre del 2018) Fue tan utilizada en esos tiempos que ya se consideraba una forma de saludo entre la gente nativa.

En la actualidad los bolis siguen siendo muy conocidos debido al calor intenso que se siente en las temporadas de verano y son una gran opción para refrescarse y son maravillosos gracias a su diversidad de sabores y además son fáciles de hacer y bajos costo

DESARROLLO DEL TEMA

La maquinaria empleada en la fabricación de este producto, está diseñado esencialmente para el consumo humano, es por eso que se cuenta con una lámpara de esterilización a base de rayos UV este



* Universidad Politécnica del Valle de México, División de Nanotecnología, Oziel.s.villegas@gmail.com, Estudiante de Ingeniería en biotecnología.

Universidad Politécnica del Valle de México, División de Nanotecnología, danisarahi809@gmail.com, Estudiante de Ingeniería en biotecnología
*FES-C, Departamento de Ingeniería, fernando.gudino@comunidad.unam.mx



con el fin de que en la salida de nuestro producto no se empaquete con algún microorganismo perjudicial para la salud. Se incluyen productos como el benzoato para la conservación del producto; el ácido cítrico y azúcar

Tabla 1. Acuerdo por el cual se determinan los aditivos y coadyuvantes en alimentos

Función tecnológica: Conservador			
Categoría de alimento	Limite máximo		Observaciones
Bebidas saborizadas no alcohólicas	600 mg/L		La mezcla con otros conservadores no debe exceder de 1000 mg/L tomando en cuenta el límite máximo de cada aditivo. Expresado como ácido benzoico
Sustancia	Concentración Máxima en Alimentos Sólidos mg/kg	Concentración Máxima en Bebidas mg/l	Excepciones y/o restricciones especiales
Acido Cianhídrico (*)	1,0	1,0	50 mg/kg en turrón, nougat, mazapán y productos similares elaborados con semillas. 1 mg/% en volumen de alcohol en las bebidas alcohólicas. 5 mg/kg en las conservas de frutas de semilla grande y dura en su centro, tales como durazno, ciruela, cerezas, etc.*

para dar un sabor único, a pesar de que se le coloca en poca cantidad, todos los valores y pruebas realizadas se realizaron tomando en cuenta las tablas obtenidas de la NOM-251-SSA1-2009 y el Diario Oficial de la Federación. (tabla1)

Una vez se tomaron en cuenta los estándares permitidos se realizaron varias pruebas de proporción (como se muestra en la tabla 2) para confirmar la calidad y sabor del producto

Tabla 2. Pruebas para la mejora del producto y de maquinaria

Prueba	Sacarosa	Ácido cítrico	Conservador	Saborizante
1er.	3.56 gr	0.25gr	0.026 gr	3 ml.
2da.	50 gr	0.50gr	0.025 gr	3 ml.
3ra.	100 gr	0.50gr	0.075 gr	5 ml.
4ta.	120 gr	1gr	0.075 gr	5 ml.
5ta.	120 gr	2gr	0.100 gr	10 ml.
6ta.	130 gr.	4 gr.	0.125 gr	10 ml.

Se realizaron los diagramas de proceso y de flujo para así poder mostrar de una manera simple el funcionamiento del dispositivo, así

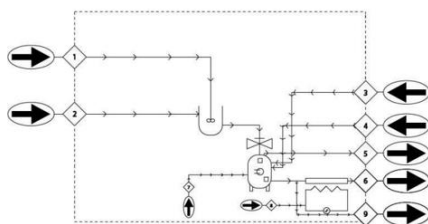


Figura 2. Diagrama de proceso de la fabricación de bolis

como para realizar un balance de materia general para poder calcular la efectividad del dispositivo

Nomenclatura

- gr: gramos
- w: watts
- ml: mililitros
- X₁: caudal volumétrico de solución preparada
- X₁: caudal volumétrico de agua para enjuague
- X₃: caudal volumétrico de solución embazada
- X₄: caudal volumétrico de solución Restante en el dispositivo

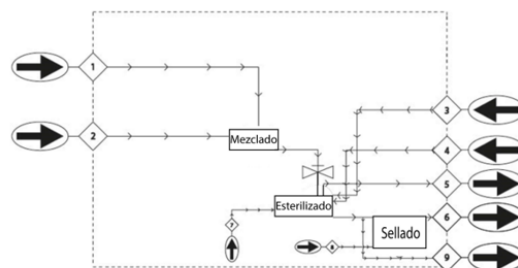
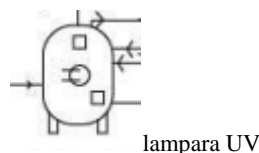
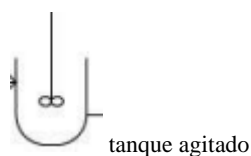


Figura 3. Diagrama de flujo del proceso

CONCLUSION

Se logro el correcto funcionamiento del dispositivo así como las proporciones de las mezclas del producto según los estándares en las normas así como la correcta conservación del producto en temperatura ambiente y la conservación aun mas duradera en estado de congelamiento

REFERENCIAS

M, K. (2023). Bolis: el postre helado mexicano que conquista el verano. Noticias Vanguardia.



<https://periodicovanguardia.mx/2023/03/06/bolis-el-postre-helado-mexicano-que-conquista-el-verano/>

Batista, L. M. (2018, 30 septiembre). El boli, ¿un manjar costeño que pierde vigencia? www.eluniversal.com.co.

<https://www.eluniversal.com.co/suplementos/facetas/el-boli-un-manjar-costeno-que-pierde-vigencia-288714-PUEU406090>
DOF - Diario Oficial de la Federación. 16 de mayo del 2016. Gob.mx. Recuperado el 19 de junio de 2023, de https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5437267&fecha=16/05/2016



Implementación de un control difuso de un motor DC en un microcontrolador Atmega328p

*Fernando Gudiño Peñaloza**

RESUMEN

El presente trabajo presenta el modelado y simulación de un prototipo didáctico de un controlador difuso tipo Mamdani, implementado con un microcontrolador ATmega328p. La finalidad del prototipo es el control de un conjunto motor-generator de corriente directa, con control por armadura. Para ello se decide implementar un controlador difuso que replique el comportamiento de un controlador tipo Proporcional-Integrativo. La arquitectura seleccionada es clásica dentro de los sistemas de control difuso al utilizar inferencia MAX-MIN para la inferencia y agregación de los conjuntos difusos, además se utilizan particiones triangulares y trapezoidales para reducir la carga computacional y se utiliza el método de centroide para garantizar un proceso de reconversión a la salida preciso. Los resultados son consistentes y favorables para su implementación en físico lo que garantiza el correcto funcionamiento del prototipo.

ABSTRACT

This paper presents the modeling and simulation of a didactic prototype of a Mamdani-type fuzzy controller, implemented with an ATmega328p microcontroller. The purpose of the prototype is the control of a direct current motor-generator set, with armature control. For this, it is decided to implement a fuzzy controller that replicates the behavior of a Proportional-Integrative type controller. The selected architecture is classic within fuzzy control systems by using MAX-MIN inference for the inference and aggregation of fuzzy sets, in addition triangular and trapezoidal partitions are used to reduce the computational load and the centroid method is used to guarantee a conversion process to the precise output. The results are consistent and favorable for its physical implementation, which guarantees the correct functioning of the prototype.

Palabras claves: Lógica Difusa, Control Inteligente, motor-generator, modelado.

INTRODUCCIÓN

Un controlador difuso, también conocido como controlador difuso o controlador fuzzy, es un tipo de controlador utilizado en sistemas de control basados en la lógica difusa. A diferencia de los controladores clásicos, que utilizan reglas de control precisas y matemáticas, los controladores difusos utilizan reglas lingüísticas y

conceptos de incertidumbre para manejar sistemas complejos o ambiguos (Lee, 1990).

El controlador difuso se basa en el principio de la lógica difusa, que permite representar y manejar la imprecisión y la incertidumbre en un sistema. En lugar de emplear valores numéricos precisos, los controladores difusos utilizan conjuntos difusos y funciones de pertenencia para describir las variables de entrada y salida del sistema. Estas funciones de pertenencia asignan grados de membresía a los valores de entrada y salida, lo que permite una representación más flexible y menos rígida (KICKERT & MAMDANI, 1993).

Los controladores difusos son utilizados en una amplia gama de aplicaciones en las que se requiere un control robusto y adaptable, especialmente en sistemas complejos o donde la descripción precisa del sistema es difícil de obtener. Ejemplos de aplicaciones incluyen el control de velocidad de motores, sistemas de climatización, control de tráfico, sistemas de navegación y muchos otros (TANAKA & WERNERS, 1997).

Un prototipo didáctico es un modelo o representación simplificada de un objeto, sistema o concepto que se utiliza con fines educativos y de aprendizaje. Estos prototipos están diseñados específicamente para facilitar la comprensión y el estudio de un tema en particular.

Por otra parte los prototipos didácticos suelen ser herramientas interactivas y tangibles que permiten a los estudiantes experimentar y manipular objetos o conceptos de manera práctica. Pueden estar compuestos por materiales físicos, como maquetas, modelos a escala, simuladores o kits de experimentación, o pueden ser implementados en forma de aplicaciones o programas de computadora. La función principal de un prototipo didáctico es brindar una experiencia de aprendizaje práctica y concreta (POLO, NARVAEZ, & ROBLES ALGARÍN, 2018).

En este trabajo se presenta el diseño e implementación de un prototipo de un controlador difuso tipo Mamdani, dispositivo de bajo costo con un microcontrolador ATmega328p (ALLDATASHEETS, 2023).

El prototipo fue diseñado como un apoyo para el aprendizaje teórico y práctico en el área de control para estudiantes de la licenciatura en ingeniería en Telecomunicaciones, sistemas y electrónica, permitiéndoles probar el desempeño individual de cada una de las etapas que componen los módulos.

*FES-C, Departamento de Ingeniería,
fernando.gudino@comunidad.unam.mx





ANTECEDENTES

El proceso de control en un controlador difuso involucra tres etapas principales tal como se observa en la figura :

Fuzzificación: Las variables de entrada se convierten en conjuntos difusos mediante funciones de pertenencia, lo que permite representar la incertidumbre y la imprecisión de los datos de entrada.

Inferencia: Se aplican reglas lingüísticas basadas en la lógica difusa para determinar la salida del controlador. Estas reglas describen la relación entre las variables de entrada y salida del sistema. La inferencia borrosa utiliza operaciones de lógica difusa, como la implicación borrosa (generalmente mediante el uso del modus ponens), para combinar y evaluar las reglas.

Defuzzificación: La salida borrosa obtenida en la etapa de inferencia se convierte en un valor numérico preciso mediante técnicas de defuzzificación. Estas técnicas, como el centroide o el máximo de la función de pertenencia, permiten obtener un valor concreto para la salida del controlador.

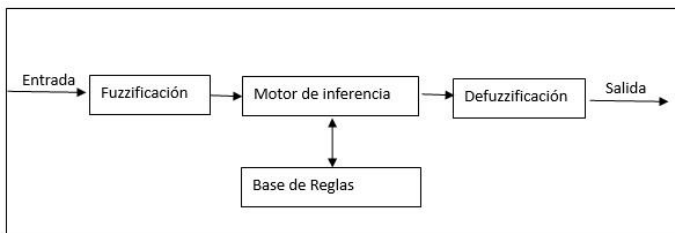


Figura 1.-Arquitectura Básica de un controlador difuso

En general, una regla de control difuso es una relación difusa que se expresa como una implicación difusa. En lógica difusa, hay muchas maneras en que una implicación difusa puede ser definido. La definición de una implicación borrosa puede ser expresada como una función de implicación difusa. El algoritmo de control difuso utilizado en este proyecto se basa en los dos conceptos de la implicación difusa y la regla de inferencia composicional, definidos como:

La función de pertenencia de una implicación borrosa S: si A entonces B, dado el conjunto difuso A del universo de discurso X y el conjunto difuso B de Y, está definido por

$$\mu_S(y, x) = \min[\mu_A(x), \mu_B(y)] \quad x \in X; y \in Y \quad (1)$$

Dada una implicación difusa S: si A entonces B, el conjunto difuso B' inferido por un cierto (dado) conjunto difuso A', donde A y A' son conjuntos difusos del universo del discurso X, mientras que B y B' son conjuntos difusos de Y, tiene una función de pertenencia definida por

$$\mu_{B'}(y) = \max_x \min[\mu_{A'}(x), \mu_S(x, y)] \quad x \in X; y \in Y \quad (2)$$

Esto se llama la regla de inferencia composicional (ZADEH, 1978). Sobre la base de estas dos definiciones se puede representar en un sentido matemático exacto un sistema que es meramente descrito por un conjunto de reglas lingüísticas, tales como:

Si entrada= "grande" entonces salida= "pequeña"

O(de otra forma)

Si entrada= "mediana" entonces salida= "mediana"

Las cuales son las reglas de producción contenidas en la ase de reglas y que determinan el comportamiento del controlador.

MODELO DEL PROTOTIPO

A continuación se describe el diseño e implementación de un controlador difuso de velocidad, equivalente a un controlador PI, para un sistema motor-generador de corriente directa. La planta consta de dos motores iguales de 12 voltios acoplados mecánicamente.

El primer paso para diseñar un sistema de control, es determinar el comportamiento dinámico de la planta a controlar, es decir, conocer su modelo teórico, en este caso, la F.T. de un motor de DC controlado por armadura.

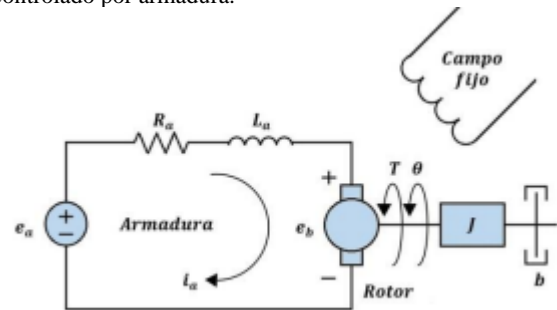


Figura 2.-Esquema de control por armadura, (Nise, 2004)

$$\frac{\theta(s)}{E_\alpha(s)} = \frac{k}{s[(R_\alpha + L_\alpha s)(Js + b) + Kk_b]} \quad (3)$$

La ecuación anterior es el modelo matemático establecido en la literatura, (OGATA, 2010). De manera experimental se determino que le modelo se puede representar por la siguiente función de transferencia.

$$P(s) = \frac{\theta(s)}{E_\alpha(s)} = \frac{22/43}{0.03s + 1} \quad (4)$$

La cual es equivalente al elemento del generador al utilizar dos elementos de similares características



ELEMENTOS DE CONTROL Y ACTUADORES DEL PROTOTIPO

El controlador se ha implementado sobre un microcontrolador MCF51QE128 de ATMEL® haciendo uso de la tarjeta de desarrollo ARDUINO.

El actuador del motor está formado por un circuito de potencia regulado mediante una señal PWM generada desde el microcontrolador, como se muestra en la figura 3. El control de potencia se realiza con un circuito conmutado (MOSFET), que se dispara por un circuito conformado por dos transistores bipolares complementarios en configuración Totem-Pole y un tercer transistor para efectuar el corte-saturación de dicha red.

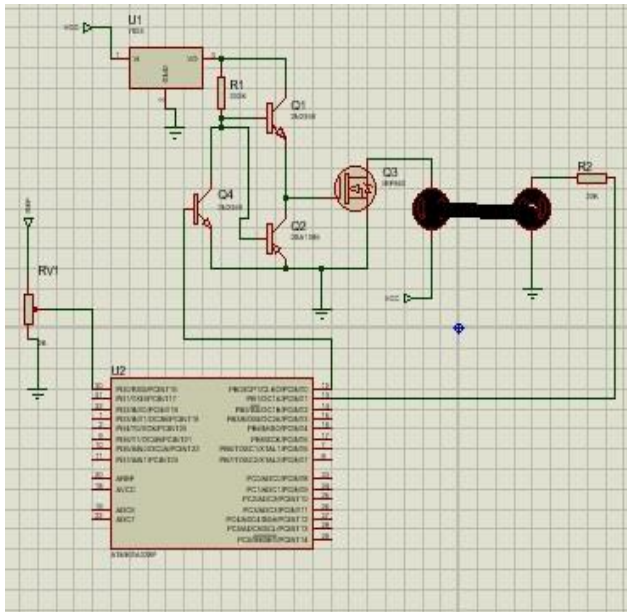


Figura 3.-Prototipo implementado, esquema electro-mecánico

La señal de entrada al microcontrolador consiste en un voltaje analógico que llega a un ADC de 10 bits, el error, que corresponde a la entrada al controlador difuso, es la diferencia entre el valor del ADC y la referencia, que para el ejercicio se logra con otra entrada ADC que se conecta con el potenciómetro.

La otra entrada del controlador es el integrador, que simplemente es la suma acumulativa de los valores de error, el rango se ha establecido entre -4096 a 4096 equivalentes a 4 muestras consecutivas con la entrada en el rango mínimo-máximo de error.

Para la salida se hará uso de una señal PWM cuyo rango equivale al porcentaje de ciclo útil (0% a 100%) establecida por una función de 10 bits (rango 0 a 1023).

DISEÑO DEL CONTROLADOR

Para el diseño del controlador se tomaron en cuenta las variables del sistema (entradas de salida) y se decidió utilizar las siguientes consideraciones

Funciones de Pertencia (etapa de Fuzzificación)

Las variables difusas se definen asignando valores de un grado de pertenencia a los conjuntos difusos para cada elemento del universo de discurso. Existen varios tipos de función pertenencia, para este ejercicio se han usado las dos más sencillas y comunes, las funciones triangular y trapezoidal. en la figura 4 se muestra la forma de las funciones de pertenencia. Se han definido 3 conjuntos como error positivo (EP), error negativo (EN) y error cercano a cero (C) para la entrada error y tres salidas: small, médium y big,

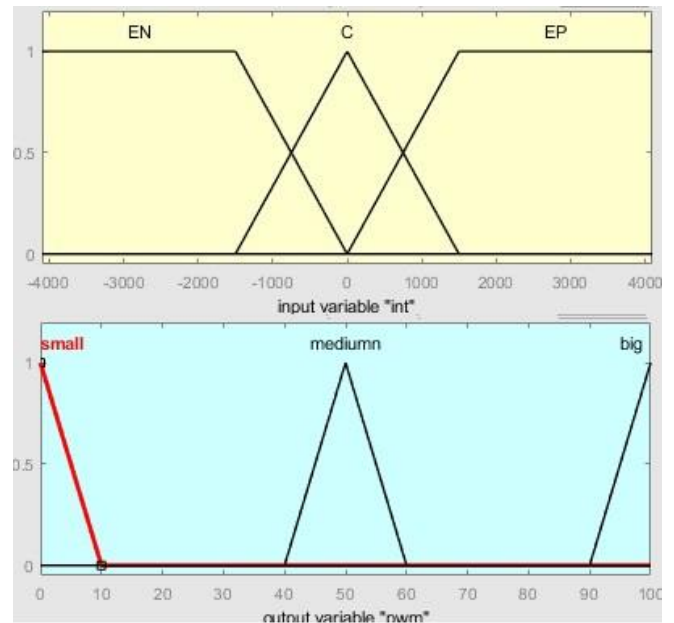


Figura 4.- funciones de pertenencia para las variables del sistema en la etapa de fuzzificación

Base de reglas y Mecanismo de inferencia

El mecanismo de inferencia difuso realiza la etapa de inferencia en el proceso de control difuso. Esta etapa implica combinar las reglas difusas basadas en la lógica difusa y determinar la salida del controlador difuso. En este proyecto se utiliza un sistema de inferencia de tipo MAMDANI el cual es un Modelo basado en Agregación de Medidas Difusas de Activación utilizando Normas de Implicación de Zadeh (ZADEH, 1978).

Dicho sistema utiliza la implicación difusa con operador mínimo, ec (1) y determina la salida en el proceso de agregación con el operador máximo, ec(2). El conjunto de reglas difusas puede ser expresado mediante una matriz de asociación difusa, FAM (Ponce, 2010).

La información de la memoria asociativa se puede observar en la tabla 1



Tabla 1.- memoria asociativa difusa para el control de un motor de cd por pulsos PWM

Entrada(error)	EN	C	EP
Salida (PWM)	SMALL	MEDIUM	BIG

De igual manera se definen una segunda matriz en la cual se toma en cuenta la acumulación de los errores en 4 ciclos de muestras y se entregan a la parte que genera la parte integrativa del sistema, dado que la tabla anterior es para la parte proporcional únicamente. La información se ve en la tabla 2

Tabla 1.- memoria asociativa difusa para el error acumulado compensado por la parte integrativa

Entrada(error acumulativo)	EN	C	EP
Salida (PWM)	SMALL	MEDIUM	BIG

Como se observa se reutiliza la memoria asociativa anterior con la finalidad de reducir los cálculos en el sistema.

La matriz expresada en las tablas 1 y 2 se puede traducir de la siguiente manera :

Si el error es negativo(EN) entonces la salida debe ser SMALL.

Lo que significa que el pulso PWM entregado tiene un ciclo de trabajo pequeño

Método de defuzzificación

El paso final de un controlador difuso es la reconversión de una salida en términos de conjuntos difusos a un valor numérico, en el dominio de los reales, que pueda ser implementado por el sistema.

Del conjunto de técnicas existentes, SOM, LOM, MOM, Bisector , Centroide, etcétera se selecciona la de centroide. Si bien las otras técnicas son computacionalmente menos demandantes, no garantizan una salida correcta del sistema. Se define entonces a la salida y_d como

$$y_d = \frac{\int_S y \mu_y(y) dy}{\int_S \mu_y(y) dy} \quad (5)$$

Donde μ_y es la función de pertenencia del conjunto de salida Y, cuya variable de salida es y. S es el dominio o rango de integración

SIMULACION Y RESULTADOS

Para comprobar su funcionamiento el sistema antes de su implementación se simuló en Matlab© y se comprobó que el sistema funciona de manera adecuada. Los resultados de la simulación se observan en las figuras 5 y 6.

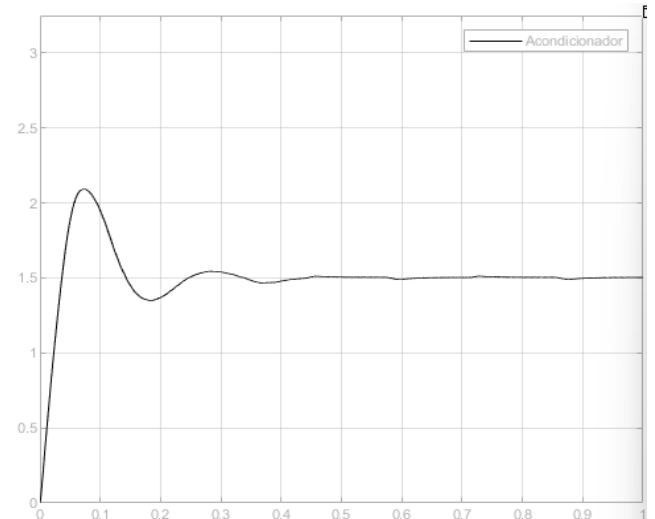


Figura 5.- Respuesta temporal del prototipo, a un entrada de error de -106(5.45 V)

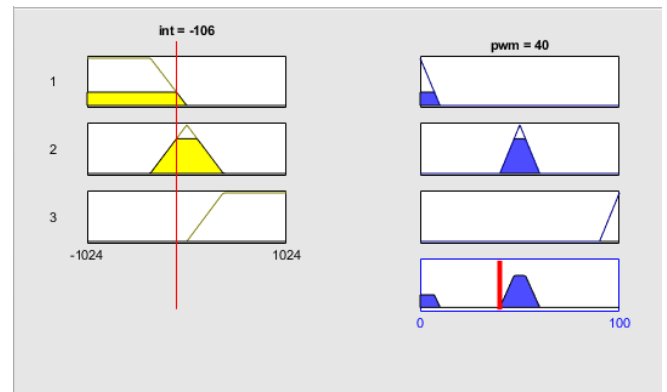


Figura 6 Ejemplo de entrada y salida del controlador difuso del prototipo para un entrada de -106(5.45V) se obtiene un ciclo de trabajo del PWM de 40%

Agradecimientos.

Este proyecto fue realizado gracias al apoyo de PIAPIME PE105123 Y PAPIIT IA102323



CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Las simulaciones demuestran que el prototipo propuesto es funcional y que su implementación en físico es viable. La respuesta temporal del sistema es adecuada y el tiempo de resolución del sistema es casi instantáneo.

El prototipo hasta el momento no se ha implementado de forma física, sin embargo es parte de los proyectos en desarrollo del departamento de ingeniería de la FES Cuautitlán. Los resultados finales y su evaluación por parte de los estudiantes estarán a finales de 2023.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- ALLDATASHEETS. (20 de 05 de 2023). all data sheets. Obtenido de <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/241077/ATMEL/ATMEGA328P.html>
- KICKERT, W. J., & MAMDANI, E. H. (1993). Analysis of a fuzzy logic controller. *Readings in Fuzzy Sets for Intelligent Systems*, 290-297.
- Lee, C.-C. (1990). Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller. *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics*, 20(2), 404-418.
- Nise, N. (2004). *Control Systems Engineering*. Nueva York: John Wiley & Sons.
- OGATA, K. e. (2010). *Ingeniería de control moderna*. NJ: Prentice hall.
- POLO, A., NARVAEZ, P., & ROBLES ALGARÍN, C. (2018). Implementation of a cost-effective didactic prototype for the acquisition of biomedical signals. *Electronics*, 7(5), 77.
- Ponce, P. (2010). *Inteligencia artificial con aplicaciones a la ingeniería*. Alpha Editorial.
- TANAKA, K., & WERNERS, B. (1997). *An introduction to fuzzy logic for practical applications*. Tokio: Springer.
- ZADEH, L. A. (1978). Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility. *Fuzzy sets and systems*, 1(1), 3-28.

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Fernando Gudiño Peñaloza: Ingeniero Mecánico Electricista egresado de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM, Maestro en Ciencias de la Computación egresado del Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey y Doctor en Ciencia Computacionales por dicho instituto. Su campo de especialización es Inteligencia artificial y Computo Evolutivo.





Diseño de un analizador de vibraciones

*Luis Carlos Pérez Carbajal, Gilberto Amaya Ventura**

RESUMEN

Se presenta el diseño de un instrumento capaz de procesar señales de vibraciones mecánicas. Estas señales son pulsos (voltaje eléctrico) que emite el transductor o sensor de proximidad “HC-SR04”, el cual detecta el cambio de estado (posición) de un objeto sólido mediante el efecto Doppler. Estas señales son adquiridas y almacenadas mediante un “microprocesador” de la marca “Arduino UNO”, programado en “MATLAB” o “GNU-Octave”. Las señales se procesan y analizan en una computadora “ACER Aspire 3 A315-53-596T, 8 GB de RAM, con procesador intel CORE i5 7th Gen.” y sistema operativo “LINUX UBUNTU”.

Para simular vibraciones mecánicas se desarrolló un montaje experimental de un resorte de aluminio soldado a una masa de acero inoxidable, equipado con una escuadra de acero inoxidable, y barrenos para el sistema de anclaje. Con este laboratorio móvil se calibran los sensores con el fin de tener confiabilidad en nuestras mediciones y valores adquiridos. Se procesó y analizó los datos (señales) se utilizó GNU-Octave (MATLAB), así como para obtener las gráficas y espectros de vibraciones correspondientes.

ABSTRACT

This work present the design of an instrument capable to process signals of mechanical vibration. Those signals are electric pulses that our proximity sensor (HC-SR04) emit when a solid object (particle) change of state (position) by the Doppler effect. Those signals are processed by a micro-processor “Arduino UNO” that was programmed on MATLAB-ARDUINO. We analyzed the data on a “ACER Aspire 3 A315-53-596T, 8 GB RAM, intel CORE i5 7th Gen.” whith “LINUX UBUNTU”.

Palabras claves: Analizador, Vibraciones, MATLAB, GNU-OCTAVE, Transformada Rápida de Fourier, ISO-10816, Diseño.

INTRODUCCIÓN

La norma ISO 10816 describe los requisitos generales para evaluar la vibración de diversos tipos de máquinas cuando las mediciones se realizan en piezas no giratorias; como en rodamientos o carcasas de máquinas industriales.

Dependiendo de los criterios de vibración, se puede requerir mediciones de desplazamiento, velocidad o combinaciones de ambas (ISO 10816-1).

Es una práctica común en maquinaria crítica tener instrumentación instalada para el monitoreo en vivo de valores de vibración en puntos claves. Para muchas máquinas, principalmente las de pequeño tamaño o baja potencia, no necesariamente se lleva a cabo un monitoreo continuo de los parámetros de vibración; problemas como desbalance, fallas en los rodamientos, alineación, etc. se pueden detectar con suficiente fiabilidad a partir de mediciones periódicas con instrumentos instalados permanentemente o portátiles. El uso de computadoras para el análisis de tendencias y alertas contra el mal funcionamiento se está volviendo más común.

ANTECEDENTES

Bajo la teoría atómica de la materia, podemos simplificar que todo está compuesto de partículas (electrones, protones y neutrones forman átomos que a su vez forman moléculas), por ende, podemos describir a lo que nos rodea, de forma simplificada, bajo esta premisa.

Denotamos la posición de una partícula en el espacio por el vector r . La velocidad instantánea la partícula está dada por el límite:

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{r(t + \Delta t) - r(t)}{\Delta t} = \frac{dr}{dt} = \dot{r}. \quad (1)$$

La aceleración instantánea viene dada por el límite:

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{v(t + \Delta t) - v(t)}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} = \dot{v} = \ddot{r}. \quad (2)$$

Cuando la partícula se mueve a lo largo de una curva en el espacio, la velocidad instantánea es un vector que se puede describir en términos de las distancias x , y , z en tres direcciones perpendiculares i , j , k , desde un origen:

$$v = \frac{dx}{dt} i + \frac{dy}{dt} j + \frac{dz}{dt} k \quad (3)$$

* FESC, UNAM, Departamento de Física, iqlpc98@gmail.com.
Ingeniero de Procesos Luis Pérez y M.C.Q. Gilberto Amaya.





Son los vectores unitarios i, j, k , apuntando a lo largo de los ejes X, Y & Z de longitud unitaria, como se muestra en la Figura 1. Se puede escribir cualquier vector como un número A_x multiplicado por i , más un número A_y multiplicado por j .

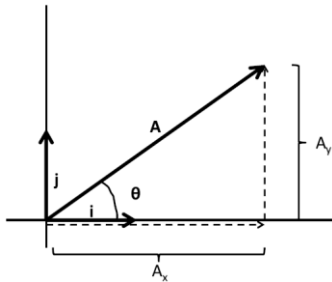


Figura 1.- Los vectores unitarios i & j y un vector arbitrario $A=iAx + jAy$ construido de ellos.

A lo largo de estos antecedentes, la relación fundamental entre fuerza y aceleración es dada por la segunda ley del movimiento de Newton, en forma vectorial:

$$\Psi = ma \quad (4)$$

donde Ψ es la suma (resultante) de todas las fuerzas aplicadas que actúan sobre la partícula con masa "m".

Ejemplo de límites de vibraciones según la ISO 10816-1.

ISO 10816-1 Overall velocity vibration guidelines

0 – 15 KW – Class I ; 15 – 75 KW – Class II ; > 75 KW – Class III

Velocity Severity		Velocity Range Limits and Machine Classes ISO Standard 10816-1			
mm/s RMS	in/s PEAK	Small Machines Class I	Medium Machines Class II	Large Machines	
				Rigid Supports Class III	Less Rigid Supports Class IV
0.28	0.02	Good	Good	Good	Good
0.45	0.03				
0.71	0.04	Satisfactory	Satisfactory	Satisfactory	Satisfactory
1.12	0.06				
1.80	0.10	Unsatisfactory (Alert)	Unsatisfactory (Alert)	Unsatisfactory (Alert)	Satisfactory
2.80	0.16	Unacceptable (Danger)	Unacceptable (Danger)	Unacceptable (Danger)	Unsatisfactory (Alert)
4.50	0.25				Unsatisfactory (Alert)
7.10	0.40	Unacceptable (Danger)	Unacceptable (Danger)	Unacceptable (Danger)	Unacceptable (Danger)
11.20	0.62				Unacceptable (Danger)
18.00	1.00	Unacceptable (Danger)	Unacceptable (Danger)	Unacceptable (Danger)	Unacceptable (Danger)
28.00	1.56				Unacceptable (Danger)
45.00	2.51	Unacceptable (Danger)	Unacceptable (Danger)	Unacceptable (Danger)	Unacceptable (Danger)

Figura 2.- Valores de vibración de la ISO 10816-1

DESARROLLO

Se utilizó el software Arduino-Matlab, en su versión libre GNU-OCTAVE, para poder recibir y procesar las señales de nuestro sensor de desplazamiento tipo "HC-SR04" que funciona bajo el efecto "Doppler". Se invocó la función "Ultrasonic" que tiene Arduino-Matlab para el tratamiento de los datos recibidos por el sensor; tomando muestras cada 0.1 segundos en un intervalo de 1 a 100 segundos. Los datos crudos son voltaje contra tiempo, y al utilizar la función "Ultrasonic" se hace el tratamiento adecuado para transformar de voltaje a desplazamiento en cm.

Con los datos obtenidos de desplazamiento contra tiempo, se aplicó el tratamiento de estos mediante la transformada rápida de Fourier, con la función "FFT". La FFT se calcula a lo largo de la primera dimensión "no singleton" de la matriz. Por lo tanto, si x es una matriz, $fft(x)$ calcula la FFT para cada columna de x .

La paquetería FFTW fue desarrollado en el MIT por Matteo Frigo y Steven G. Johnson.

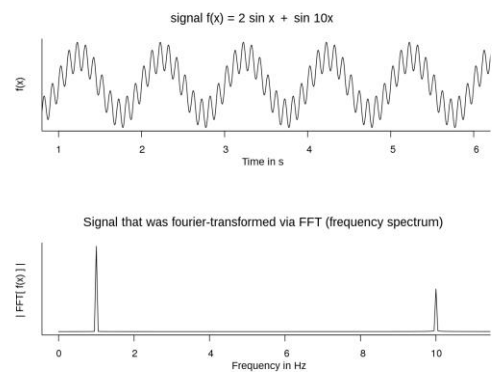


Figura 3.- Representación general de la Transformada Rápida de Fourier

A continuación, se anexa el código para poder tomar los datos de desplazamientos, aplicar la FFT y analizar los datos:

```
clear; close all; clc;
a=arduino('/dev/ttyACM0','uno','libraries','Ultrasonic');
sensor=ultrasonic(a,'D2','D3');
tiempo = 1:100;

for i=1:100 %Número de Muestras
distX(i) = readDistance(sensor); % Guarda el valor Adquirido
pause(0.1) %Frecuencia de Muestra -Cada "tanto" se toma muestra
end

distXcm = distX*100;
figure (1);
plot(distXcm)
xlabel('Tiempo (s)')
ylabel('Distancia(cm)')
title('Cambio de Estado Vs Tiempo')
disp(tiempo' distXcm')
```



```
%FFT ALGORITHM
```

```
N = 100;  
T = 1.0/N;  
distf = fft(distXcm, 1/T);  
distf = abs(distf);  
figure (2);  
plot(distf)
```

```
clear a;
```

RESULTADOS Y ANÁLISIS

La programación de este software se hizo a través del sistema operativo LINUX-UBUNTU que servirá como un ANALIZADOR DE VIBRACIONES.

Se montó el siguiente sistema experimental para calibrar nuestro sensor de desplazamiento. Donde se midió un sistema masa resorte en acero inoxidable en reposo y después de una perturbación:

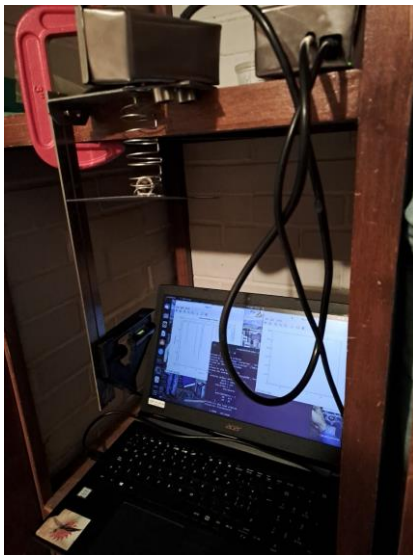


Figura 4.- Montaje Experimental. A la izquierda el sistema masa resorte junto con el módulo del sensor de proximidad, y a la derecha el módulo del microprocesador. Se envía los datos vía cable USB-B.

Los resultados del sistema en reposo fueron los siguientes:

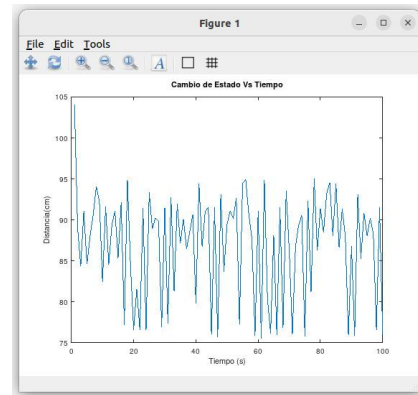


Figura 5.- Distancia (mm) Vs tiempo (s)

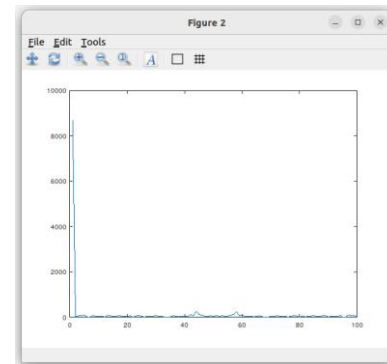


Figura 6.- Espectro de vibración

Los resultados del sistema a aplicar una perturbación fueron los siguientes:

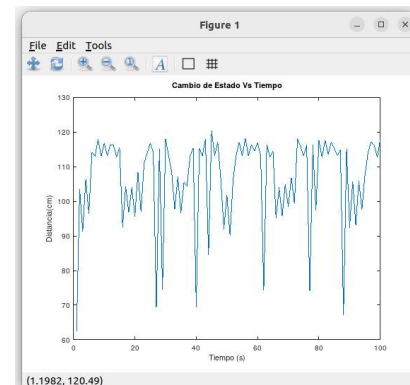


Figura 7.- Distancia (mm) Vs tiempo (s)

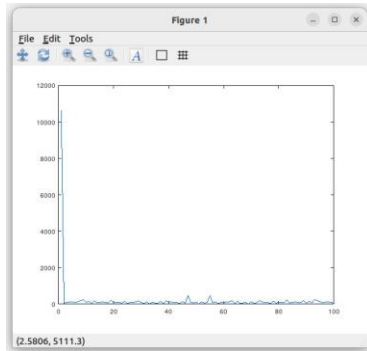


Figura 8.- Espectro de vibración

Los resultados coinciden con los valores de la escuadra inoxidable que es parte del sistema experimental, esta escuadra tiene la función de verificar de forma física los resultados obtenidos por el programa que hemos creado.

Las gráficas que obtuvimos corresponden con el comportamiento esperado de un oscilador armónico amortiguado, característico del sistema masa resorte.

CONCLUSIONES

Se diseñó un equipo capaz de procesar vibraciones mecánicas mediante el software Arduino-Matlab & LINUX-UBUNTU.

Obtuvimos el espectro de vibración, el cual nos ayuda a la hora de realizar mantenimientos predictivos a nuestra maquinaria rotativa, según la norma ISO 10816-1.

Diseñamos un sistema para calibrar nuestro sensor de desplazamiento, el cual nos sirve para tener confiabilidad a la hora de realizar mediciones en campo a la maquinaria rotativa.

Una de las aplicaciones para este equipo analizador de vibraciones es para el control de turbinas, donde se necesita que se mantenga lo más fija posible, al igual que para realizar balanceos dinámicos a turbinas de aire, ventiladores y molinos, etc.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

Frigo, M., and S. G. Johnson. (1998). "FFTW: An Adaptive Software Architecture for the FFT." Proceedings of the International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. Vol. 3, pp. 1381-1384.

S/A. (1997). "The Fastest Fourier Transform in the West," MIT-LCS-TR-728 (September 1997).

Shankar, R. (2014). Fundamentals of Physics. Mechanics, Relativity, and Thermodynamics. Editorial "Yale UNIVERSITY PRESS". Páginas 19-22.

Whitman, A. (2020). Thermodynamics: Basic Principles and Engineering Applications. Editorial "Springer". Páginas 15-18.

Zohdi, T. (2007). An Introduction to Modeling and Simulation of Particulate Flows. Editorial "Society for Industrial and Applied Mathematics". Páginas 1-3.

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Gilberto Amaya Ventura: Ingeniero Químico de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM, Maestro en Ciencias Químicas con orientación en Simulación de Fenómenos Físicos y Físico-Químicos egresado de la División de Estudios de posgrado de la FESC de la UNAM y candidato a Doctor en Ciencias Químicas con orientación en Simulación de Fenómenos Físicos y Físico-Químicos.

Luis Carlos Pérez Carbajal: Ingeniero Químico pasante de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM, dos años de Ing. Jr. En mantenimiento preventivo y un año de Ing. Jr. De Procesos de refrigeración y diseño metal-mecánico. Aspirante a posgrado en matemáticas aplicadas.



Diseño y elaboración de una propuesta didáctica para obtener la fuerza y el coeficiente de fricción cinética en un plano inclinado mediante el software Tracker Video Analysis and Modeling Tool for Physics Education

Yolanda Benítez Trejo[#], Omar Vladimir Martínez Lujan*

RESUMEN

El procedimiento experimental de esta actividad se basa en realizar el descenso de un cuerpo sobre un plano inclinado desde una altura determinada considerando ángulos pequeños y la toma de un video del movimiento obtenido. Posteriormente el video se transfiere a la computadora y mediante el programa de *Tracker Video Analysis and Modeling Tool for Physics Education* se obtiene la ecuación de movimiento tiempo-posición y se usa el valor de la aceleración de la localidad en el eje x para calcular el coeficiente de fricción cinética y la fuerza de fricción correspondiente. Se presentan los resultados del experimento y su análisis, llegando a la conclusión de que es posible aplicar esta propuesta didáctica teórico-experimental en los alumnos con la finalidad de mejorar su aprendizaje sobre del tema. Todo se genera para trabajar en un modelo de aprendizaje híbrido.

ABSTRACT

Resumen. Se debe incluir un resumen el cual debe contener brevemente el planteamiento del problema, la solución propuesta y los resultados obtenidos.

Debe contar con un abstract, el cual será el mismo resumen, pero en el idioma inglés.

Palabras clave: fuerza de fricción cinética, coeficiente de fricción cinética, diseño de experimentos en Mecánica, fuerza de fricción en un plano inclinado, modelo híbrido de aprendizaje.

INTRODUCCIÓN

La *cinemática de la partícula* estudia la trayectoria del movimiento de una partícula; esto es, determina su posición, velocidad y aceleración en la línea recta, plano o el espacio. Un caso particular es el Movimiento Rectilíneo Uniformemente Acelerado (MRUA) de un cuerpo que se desplaza libremente sobre un plano inclinado. Las principales características del MRUA son: el movimiento siempre transcurre a lo largo de una línea recta, la aceleración del móvil es constante, tanto en magnitud como en dirección y sentido,

la velocidad cambia linealmente y la aceleración se mantiene constante. En esta actividad de aprendizaje se calculan el coeficiente de fricción y la fuerza de fricción cinéticos en un riel sobre el cual se coloca un carro de baja fricción, utilizando las ecuaciones del movimiento MRUA, la Segunda Ley de Newton y el software *Tracker Video Analysis and Modeling Tool*. El conocimiento adquirido servirá para la resolución de problemas que involucren el movimiento de un cuerpo sobre un plano inclinado en la clase teórica.

JUSTIFICACIÓN

A partir de la contingencia de salud pasada, se percibe claramente que ésta afectó a los estudiantes de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de las carreras de Ingeniería y se identifica que vienen con conocimientos muy deficientes, de ahí que nace la necesidad de diseñar una actividad de aprendizaje que permita trabajar en un modelo híbrido de aprendizaje que integre la tecnología y las necesidades de mejora educativa. se espera que los conceptos básicos del movimiento de los cuerpos sean claros, tomando en cuenta que los estudiantes han pasado materias como la Estática y las evaluaciones correspondientes al curso de Cinemática y Dinámica en las carreras de ingeniería, pero no hay nada más lejos de la realidad, ya que algunos conceptos tanto del reposo como del movimiento de los cuerpos no han sido asimilados de forma correcta y no pueden aplicar los conocimientos a entornos diferentes, estos errores persisten a lo largo de cursos subsiguientes. Al finalizar el curso algunos de los estudiantes se pueden convertir en docentes; lo cual es preocupante con esos conocimientos fallidos pues el ciclo de desconocimiento se repite nuevamente. Para solucionar el problema algunos profesores proponen realizar ejercicios una y otra vez, y afirman que con la “práctica” se aprende, opinión muy aceptada a la fecha y nadie plantea cambiar el proceso de aprendizaje; sin embargo, con el método tradicional de enseñanza no se logra un aprendizaje significativo en la mayor parte de los estudiantes y no lo pueden aplicar a entornos diferentes. Por esta razón en esta investigación se pretende apoyar a los alumnos cambiando la metodología de aprendizaje hacia un ambiente de aprendizaje híbrido, con la finalidad de corregir y mejorar la formación de los estudiantes.

MATERIALES Y EQUIPO

Una computadora con sistema operativo Windows, iOS, u otro. Software *Tracker Video Analysis and Modeling Tool*.

Un carro PASCO de baja fricción, o un carrito que sea lo más estable posible en su desplazamiento (p. ej. Hot Wheels).

[#] Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Departamento de Física. Dra. en Ciencias en Física Educativa. ybenitez@unam.mx.

* Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Ingeniería en Telecomunicaciones, Sistemas y Electrónica. Estudiante de Ingeniería, Telecomunicaciones, Sistemas y Electrónica. vladimir_lujan@comunidad.unam.mx.



Software *Tracker Video Analysis and Modeling Tool* (Douglas, Wolfrang, & Hanson, 2003).
 Una cámara de video o celular de cualquier tipo (iOS, Android o cualquier otro).
 Un tripié o superficie estable para poner el celular o cámara de video.
 Una cinta métrica, regla, flexómetro o escuadra graduada.
 Masking Tape.
 Un riel de aluminio con accesorios PASCO, o un riel de madera, hierro, aluminio o cualquier otro material.
 Un tornillo de banco o algo para sujetar el riel de forma fija.
 Una balanza de cocina o de la tienda de la esquina o una balanza granataria.
 Un nivel de burbuja o nivel digital (aplicación del celular).

OBJETIVO GENERAL

Diseñar una actividad de aprendizaje para que el alumno obtenga de forma experimental el coeficiente de fricción cinético y calculará la fuerza de fricción correspondiente de un cuerpo que se desliza sobre un plano inclinado, aplicando la ecuación de posición experimental del MRUA, la Segunda Ley de Newton y el software *Tracker video and Analysis and Modeling Tool for Physics Education* para aplicarlo a la resolución de problemas de movimiento de la partícula con estas características.

DESARROLLO TEÓRICO

Movimiento Rectilíneo Uniformemente Acelerado

Un movimiento uniformemente acelerado es aquél cuya aceleración es constante. Si se tiene la velocidad en función del tiempo, se obtiene la posición del móvil en un instante de tiempo t . Las ecuaciones de movimiento correspondientes son:

$$a = a_c \quad (1)$$

$$v = v_0 + a_c t \quad (2)$$

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a_c t^2 \quad (3)$$

De manera física, se dice que la aceleración se mantiene constante a lo largo del tiempo, la velocidad instantánea cambia su módulo de manera uniforme; es decir, aumenta o disminuye en la misma cantidad por cada unidad de tiempo.

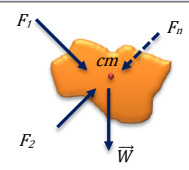
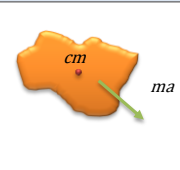
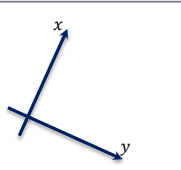
Segunda Ley de Newton

Para resolver ejercicios de movimiento curvilíneo de la partícula algunas veces es necesario aplicar los *principios de la dinámica* o *Leyes de Newton*. Estos son axiomas por los que se rige el movimiento de una partícula o sistema de partículas, fueron recopilados por Newton, basándose en los trabajos de Galileo, en sus *Principia Mathematica*. A saber, las ecuaciones representativas son:

$$\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = \sum_{i=1}^n m_i \vec{a}_i \quad (4)$$

Sus diagramas de cuerpo libre y cinemático se observan en la Tabla 1, a continuación.

Tabla 1. Elementos de análisis para la solución de problemas con la 2ª Ley de Newton (Benítez Trejo, Actividad 5. Segunda Ley de Newton, 2023).

$\sum \vec{F}$	$m\vec{a}$	(x, y)
Diagrama de cuerpo libre	Diagrama Cinemático	Sistema de Coordenadas Cartesiano
		
Representa al miembro de la izquierda de la ecuación y muestra la <i>fuerza resultante</i> sobre el cuerpo.	Representa al miembro de la derecha de la ecuación y muestra el efecto de la <i>fuerza resultante</i> que se ejerce sobre un cuerpo.	Sirve para establecer los signos de las componentes rectangulares.

PROCEDIMIENTO

Procedimiento Experimental Plano inclinado con fricción

El procedimiento se basa en realizar el descenso de un cuerpo sobre un plano inclinado desde una altura determinada (considerar ángulos pequeños, menores de 10°) y tomar el video de este movimiento, con alguna medida de referencia; tal como, una regla, cinta de sastre, flexómetro o cualquier herramienta de medición. El armado del dispositivo puede realizarse con elementos de su entorno o en el laboratorio de física, como se muestra en las figuras 1 y 2.

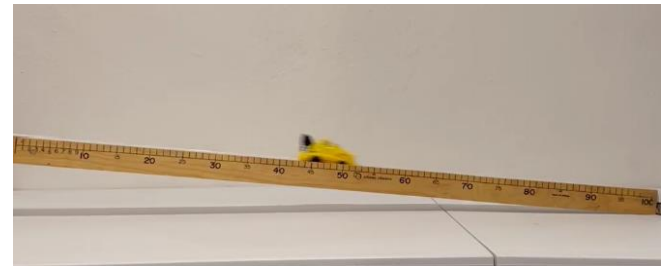


Figura 1. Montaje Cuerpo sobre plano inclinado casero (Benítez Trejo, Actividad 6. Fuerza y Coeficiente de Fricción Cinética en un Plano Inclinado, 2023).

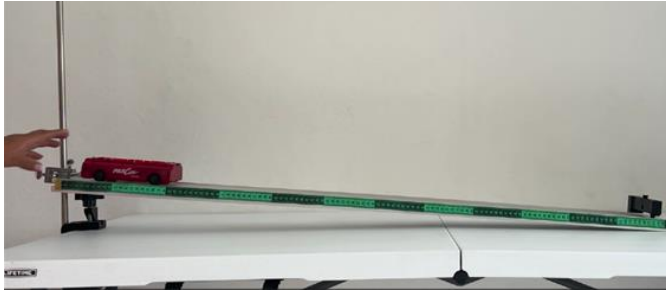


Figura 2. Montaje experimental del plano inclinado, en laboratorio (Benítez Trejo, Actividad 6. Fuerza y Coeficiente de Fricción Cinética en un Plano Inclinado, 2023).

Se toma el video y se pasa a la computadora para utilizar el *Tracker Video Analysis and Modeling Tool for Physics Education* en análisis de movimiento del carro de baja fricción, teniéndose los resultados que se muestran en la figura 3.

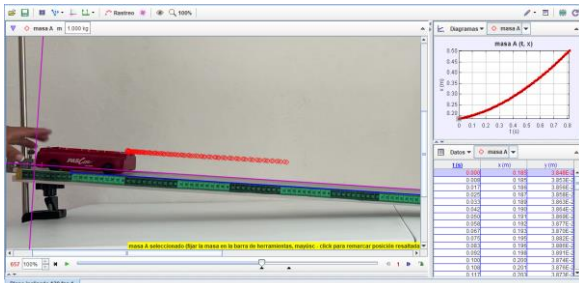


Figura 3. Fotograma del seguimiento de la trayectoria de posición (Benítez Trejo, Actividad 6. Fuerza y Coeficiente de Fricción Cinética en un Plano Inclinado, 2023).

Una vez que se tienen los valores numéricos de tiempo y posición en las tablas del software *Tracker*, se copian y pasan al programa de Excel y se elabora la gráfica posición-tiempo (x,t) como se observa en la figura 4, junto con su ecuación del gráfico.

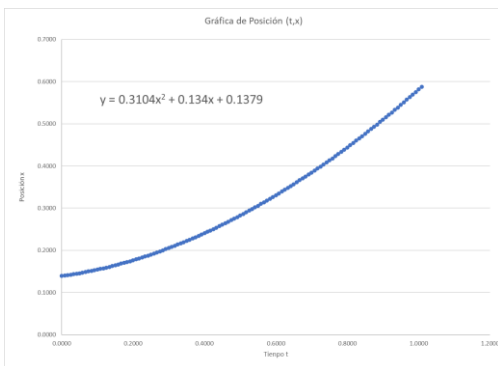


Figura 4. Gráfica de posición en Excel (Benítez Trejo, Actividad 6. Fuerza y Coeficiente de Fricción Cinética en un Plano Inclinado, 2023).

Para encontrar primero el coeficiente de fricción cinético escribir el valor de

$$\frac{1}{2}at^2$$

Que se reporta en la expresión matemática experimental de posición para el eje x (ver la gráfica de Excel). Calcular y escribir el valor de aceleración a , el cual sería la aceleración en el eje x .

$$\frac{1}{2}a_x t^2 = 0.3104t^2$$

$$\frac{1}{2}a_x = 0.3104$$

$$a_x = (0.3104)2$$

La aceleración experimental de un carro de baja fricción en descenso es:

$$a_x = 0.6208 \text{ m/s}^2$$

Procedimiento teórico

Plano inclinado sin fricción

Se dibuja el diagrama de aceleraciones, como en la figura 5, con la finalidad de calcular la aceleración sin fricción del cuerpo sobre el riel de deslizamiento, de esta forma la aceleración en el eje x del cuerpo deslizando sobre el riel.

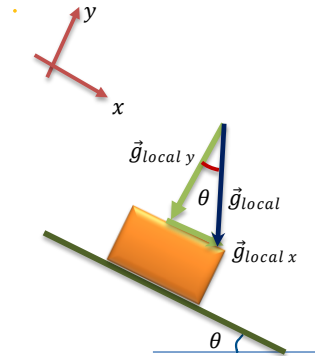


Figura 5. DCL de un cuerpo sobre un plano inclinado, sin fricción (Benítez Trejo, Actividad 6. Fuerza y Coeficiente de Fricción Cinética en un Plano Inclinado, 2023)..

Con el diagrama anterior, se calcula la aceleración sin fricción en el eje x del cuerpo en descenso, con los datos de inclinación del experimento, a saber:

$$\text{sen}\theta = \frac{g_{localx}}{g_{local}}$$

$$g_{localx} = g_{local}\text{sen}\theta$$

$$a_x = g_{local}\text{sen}\theta$$

$$a_x = 9.76\text{sen}3.7^\circ$$



La aceleración resultante del cuerpo en descenso sin fricción es:

$$a_x = 0.6298 \text{ m/s}^2$$

Plano inclinado con fricción

Para calcular la aceleración del carro de baja fricción en descenso, se elabora el DCL y el diagrama cinemático del cuerpo descendiendo sobre un plano inclinado, considerando la fuerza de fricción. Rotar los ejes dirigiendo el eje x en el sentido del movimiento, paralelo al plano inclinado.

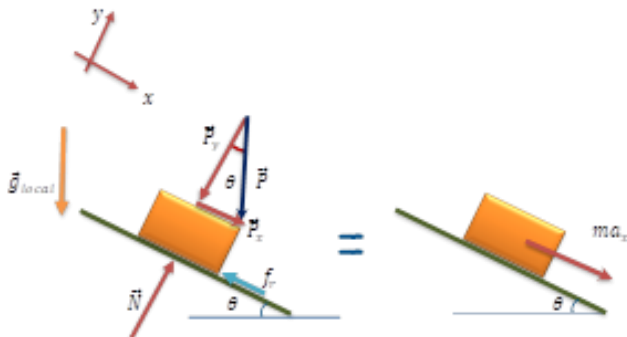


Figura 6. Diagrama de cuerpo libre (DCL) y diagrama cinemático (DC) de un cuerpo sobre un plano inclinado (Benítez Trejo, Actividad 6. Fuerza y Coeficiente de Fricción Cinética en un Plano Inclinado, 2023).

Análisis y Discusión de Resultados

Dado que en el análisis del movimiento en descenso del carro de baja fricción se considera nulo, se anotan los resultados de aceleración en el eje x y la fuerza de fricción y coeficiente de fricción en la Tabla 3.

Para el cálculo de la fuerza y coeficiente de fricción cinéticos que se presenta de forma experimental con un movimiento real, es necesario elaborar el DCL y el DC como se indica en la Tabla 2.

Tabla 2. Aplicación de la Segunda Ley de Newton.

DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE		DIAGRAMA CINEMÁTICO
DCL		DC
$\sum_{i=1}^n f_x$	=	$\sum_{i=1}^n ma_{xi}$

$$a_x = 0.6208 \text{ m/s}^2$$

La sumatoria de fuerzas en el eje y es cero, por lo tanto, no hay movimiento en esa dirección y no hay aceleración en dirección de este.

$$\begin{aligned} a_y &= 0 \\ \sum F_y &= 0 \\ \sum ma_y &= 0 \end{aligned}$$

Considerando que no existe movimiento en el eje y , se tiene que la sumatoria de fuerzas en este es cero. Se calcula el valor de la fuerza normal.

$$\sum F_y = N - P_y = 0$$

Despejando N

$$N = P_y$$

El peso del cuerpo es

$$\begin{aligned} P &= mg_{local} \\ P &= 0.495(9.76) \\ P &= 4.8312 \text{ N} \\ P_y &= P \cos \theta \\ P_y &= 4.8312 \cos 3.7^\circ \end{aligned}$$

El valor del peso en el eje y es

$$P_y = 4.8211 \text{ N}$$

El valor de la fuerza normal es

$$\begin{aligned} N &= P_y \\ N &= 4.8211 \text{ N} \end{aligned}$$

Con el diagrama de cuerpo libre de la figura 6, se realiza el análisis cinético en el eje x , utilizando la Segunda Ley de Newton, se logra valor del peso en el eje x y de la fuerza de fricción cinética, mediante la sumatoria de fuerzas en el eje x ; por último, se determina el valor de fuerza normal utilizando los resultados del proyecto.

$$\begin{aligned} \sum F_x &= \sum ma_x \\ P_x - f_c &= ma_x \end{aligned}$$

Despejando el valor del peso en el eje x .

$$\begin{aligned} P_x &= P \sin \theta \\ P_x &= 4.8241 \sin 3.7^\circ \end{aligned}$$

La componente del peso en el eje x es

$$\begin{aligned} P_x &= 0.3113 \text{ N} \\ \sum F_x &= ma_x \\ P_x - f_c &= ma_x \end{aligned}$$



Sustituyendo los valores

$$0.3113 - f_c = 0.495(0.6208)$$

$$0.3113 - f_c = 0.3073$$

Despejando la fuerza de fricción cinética se obtiene

$$-f_c = 0.3073 - 0.3113$$

$$-f_c = -0.004 N$$

El valor de la fuerza de fricción cinética es

$$f_c = 0.004 N$$

El coeficiente de fricción cinético en el plano inclinado aplicando la fuerza de fricción cinética es,

$$f_c = \mu_c N$$

Despejando el coeficiente de fricción y sustituyendo los valores.

$$\mu_c = \frac{f_c}{N}$$

$$\mu_c = \frac{0.004}{4.8211}$$

El valor numérico del coeficiente de fricción cinético es:

$$\mu_c = 0.0008$$

Se muestran en la Tabla 3. el coeficiente y la fuerza de fricción cero cuando no se toma en cuenta la fricción entre superficies; sin embargo, en la parte experimental, la cual es la réplica del movimiento, se observa que hay una disminución de la aceleración del cuerpo sobre el eje x , debido a la presencia de una fuerza de fricción mínima.

Tabla 3. Comparación de valores de un cuerpo sobre un plano inclinado.

	Aceleración en eje x a_x	Fuerza de fricción cinética f_c	Coefficiente de fricción cinético μ_c
Teórica sin fricción	0.6298 m/s^2	0 N	0 N
Experimental con fricción.	0.6208 m/s^2	0.004 N	0.0008

Para el caso de que los estudiantes realicen su proyecto en casa, los valores del coeficiente y la fuerza de fricción cinéticos serán mucho más altos debido a las superficies y materiales que se utilicen para la experimentación. El análisis numérico deberá ser exactamente el mismo que se realizó anteriormente.

Esta actividad de aprendizaje forma parte de otras que están diseñadas para su uso con los estudiantes de ingeniería de las

carreras de IME, ITSE, Ing. Industrial, Ing. Agrícola e Ingeniería en Alimentos; entre otras, y se encuentran en una plataforma de Moodle (figura 7) que contiene un aula virtual para que los estudiantes tengan acceso a los contenidos. Para cada una de las actividades diseñadas se cuenta con el marco teórico sobre el tema que se está trabajando, direcciones de Internet útiles para el aprendizaje y un espacio para la entrega de los resultados obtenidos de la experimentación. También se tienen los medios de comunicación síncronos y asíncronos para resolver las dudas e intercambiar ideas. Todo el material está diseñado para cubrir el modelo de aprendizaje híbrido. Si se desea tener acceso a estos materiales pueden comunicarse con los autores en los correos de referencia.

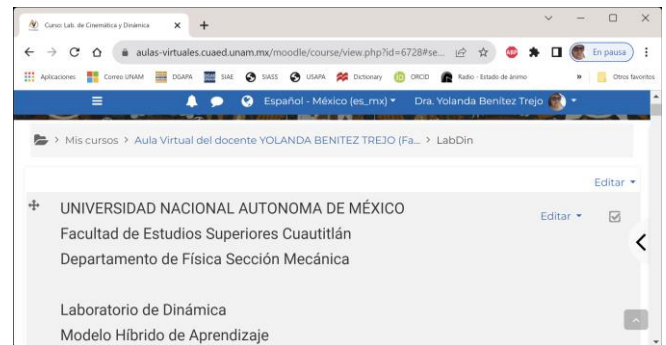


Figura 7. Aula virtual para el laboratorio de Dinámica en modelo híbrido de aprendizaje.

CONCLUSIONES

El objetivo principal fue “Diseñar una actividad de aprendizaje para que el alumno obtenga de forma experimental el coeficiente de fricción cinético y calculará la fuerza de fricción correspondiente de un cuerpo que se desliza sobre un plano inclinado, aplicando la ecuación de posición experimental del MRUA, la Segunda Ley de Newton y el software *Tracker video and Analysis and Modeling Tool for Physics Education* para aplicarlo a la resolución de problemas de movimiento de la partícula con estas características”. Éste se cubrió en su totalidad, pues los resultados indican que la secuencia de actividades dio como resultado la fuerza y coeficiente de fricción cinéticos con y sin fricción.

Esta propuesta didáctica se puede desarrollar en modalidad híbrida de aprendizaje, pues las características de experimentación permiten realizar todos los pasos con materiales caseros y con el apoyo que se encuentra en una plataforma de Moodle, en la cual se encuentran materiales y procedimientos para el efecto, se pueden revisar, con o sin apoyo de un docente y se entregan en la misma aula virtual los trabajos realizados por los estudiantes, para su posterior evaluación. La finalidad del diseño de esta actividad con el apoyo de Moodle es que si un estudiante no puede acudir a clase presencial por motivos de cualquier índole, puede revisar los materiales que se encuentran en la red y realizar su trabajo por sí mismo para entregarlo y recibir posteriormente; por el mismo medio, su evaluación. Es importante tomar en cuenta que en una



modalidad híbrida para el aprendizaje los estudiantes podrán tomar la clase vía Zoom y hacer preguntas en forma sincrónica en el momento de la sesión de clase; o bien, por medio de otros canales de comunicación asincrónicos como en el foro de dudas de la plataforma.

La propuesta cuenta con una rúbrica de evaluación en la cual se indican los puntos a valorar dentro de la actividad, se busca cumplimiento de los objetivos de aprendizaje, el seguimiento de la mejora continua; así como, contiene los criterios de calidad de la Norma ISO 9001:2015 y se hace aplicación del atributo educativo AE3 CACEI MR2018. Si alguien quiere hacer revisión de los contenidos, favor de comunicarse con los autores.

Es importante mencionar que la actividad experimental se aplicó a por lo menos en 5 semestres y los estudiantes que estuvieron involucrados resolviendo la propuesta apoyaron con el diseño de la misma indicando las partes que no eran claras para ellos, la redacción de la misma y sugerencias. Normalmente el diseño de actividades experimentales se realiza solo por profesores y no se involucra a los estudiantes que son el fin de las mismas, el aplicarlas y pedir sugerencias ha sido del todo valioso, ya que ellos son los que sufren lo que los profesores hacemos, el permitirles involucrarse los hace más receptivos al aprendizaje y surgen ideas que otras veces no se habían considerado, enriqueciendo la actividad de los grupos de trabajo.

Hay que considerar que los espacios en este artículo no son del tamaño adecuado para presentar los contenidos de los materiales diseñados en su totalidad, pues abarcan una gran cantidad de elementos de estudio para profesores y estudiantes. La propuesta cuenta con los siguientes materiales diseñados para su uso por docentes y estudiantes.

- i. Propuesta didáctica para obtener la fuerza y el coeficiente de fricción cinéticos en un plano inclinado mediante el software *Tracker Video Analysis and Modeling Tool for Physics Education* – Alumno.
- ii. Propuesta didáctica para obtener la fuerza y el coeficiente de fricción cinéticos en un plano inclinado mediante el software *Tracker Video Analysis and Modeling Tool for Physics Education* – Profesor.
- iii. Marco teórico de Coeficiente de Fricción y Segunda Ley de Newton.
- iv. Direcciones de Internet para apoyo al marco teórico.
- v. Rúbrica de evaluación.

TRABAJO A FUTURO

En un artículo posterior se presentarán los resultados de la aplicación de esta actividad y el aprovechamiento y dificultades de aprendizaje que han tenido los estudiantes, este artículo es un primer paso el cual consiste en el diseño y experimentación, presentación de resultados y análisis de los mismos, el resultado final de la investigación educativa se presentará en un trabajo posterior y seguramente se harán algunos ajustes en su diseño, para mejorar los resultados del aprendizaje.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo de la Universidad Nacional Autónoma de México, la cual a través de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán ha proporcionado los elementos para elaborar la propuesta didáctica mediante el Proyecto PAPIME PE107322. También se agradece las observaciones de los estudiantes de los diversos semestres que apoyaron el trabajo resultante.

BIBLIOGRAFÍA

- Beer, F., Johnston, E., Cornwell, P., & Self, B. (2017). *Mecánica Vectorial para Ingenieros Dinámica* (11 ed.). México: Mc. Graw Hill.
- Benítez Trejo, Y. (27 de 07 de 2023). *Actividad 5. Segunda Ley de Newton. Manual de Laboratorio de Dinámica para modalidad de aprendizaje híbrido, 1a. Edición*, 5. (U. N. México, Ed.) Ciudad de México, México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Benítez Trejo, Y. (2023). *Actividad 6. Fuerza y Coeficiente de Fricción Cinética en un Plano Inclinado. Manual de Laboratorio de Dinámica para modalidad de aprendizaje híbrido, 1a. Edición*, (U. N. México, Ed.) Ciudad de México, México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Brown, D. (2020, 05 14). *Tracker Video Analysis and Modeling Tool for Physics Education*, 5.1.5. Retrieved 09 08, 2020, from <https://physlets.org/tracker/>
- Cañas, A., & Novak, J. (2009, 09 28). *¿Qué es un Mapa Conceptual?* Retrieved 05 13, 2022, from <https://cmap.ihmc.us/docs/mapaconceptual.php>.
- Douglas, B., Wolfrang, C., & Hanson, R. (2003). *Tracker Video Analysis and Modeling Tool for Physics Education*. Retrieved from <https://physlets.org/tracker/>.
- Florida Institute for Human & Machine Cognition. (2018, 17 11). *Cmap Tools*. Retrieved 08 17, 2020, from <https://cmap.ihmc.us/>.
- Hibbeler, R. C. (2016). *Mecánica Vectorial para ingenieros Dinámica* (14 ed.). México: Pearson.
- MRUA y Tracker 1. (n.d.). Retrieved 04 01, 2021, from YouTube: https://www.youtube.com/watch?v=VafxP_c48YQ.
- MRUA y Tracker 2. (n.d.). Retrieved 04 01, 2021, from YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=EArm2Gdmln8>.
- MRUA y Tracker 3. (n.d.). Retrieved 04 01, 2021, from YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=cJtOki8M7OE>.

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Yolanda Benítez Trejo. Ingeniera Mecánica Electricista por la Universidad Nacional Autónoma de México. Maestría en Ingeniería Metal-Mecánica por la Universidad Nacional Autónoma de México. Dra. en Ciencias en Física Educativa por el Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Unidad Legaria del Instituto Politécnico Nacional.

Omar Vladimir Martínez Lujan. Pasante de la Licenciatura en Telecomunicaciones, Sistemas y Electrónica en la Universidad Nacional Autónoma de México.



La importancia de la innovación en la ingeniería

Alberto de Jesús Pastrana Palma *, ***Pedro Guzmán Tinajero*** **, ***Víctor Hugo Hernández Gómez*** ***, ***Aide Castro Fuentes*** ****, ***Raúl Arturo Alvarado López*** *****

RESUMEN

En este trabajo, los autores mostrarán la importancia de la innovación en la ingeniería, a través del análisis de algunas experiencias en la Universidad Autónoma de Querétaro, el Departamento de Física y El Laboratorio de Investigación en Energías Renovables, éstos últimos pertenecientes a la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán UNAM.

Para el análisis inicial, se analizará la posición de México a nivel internacional en materia de Innovación y tecnología, el desarrollo actual, tanto del Estado de Querétaro como del Estado de México en materia de Innovación. Se considerarán algunas experiencias tanto en el proceso, desarrollo y registro de innovación y se aterrizará en algunos ejemplos prácticos de ingeniería.

Finalmente se reflexionará en las conclusiones sobre la importancia de trabajos colaborativos entre instituciones como la UNAM y la UAQ, ante el inminente mundo cambiante, presente y futuro.

ABSTRACT

In this work, the authors will show the importance of innovation in engineering, through the analysis of some experiences at the Universidad Autónoma de Querétaro, the Physics Department and the Renewable Energy Research Laboratory, the latter belonging to the Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán UNAM.

For the initial analysis, the position of Mexico at the international level in terms of Innovation and technology will be analyzed, as well as the current development of both the State of Querétaro and the State of Mexico in terms of Innovation. Some experiences will be considered both in the process, development and registration of innovation and will land on some practical examples of engineering.

Finally, the conclusions will be reflected on the importance of collaborative work between institutions such as UNAM and UAQ, in the face of the imminent changing, present and future world.

Palabras clave: Innovación, Tecnología, Ingeniería, UNAM, UAQ.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, hablar de ingeniería es sinónimo de innovación y tecnología. Para nadie resulta extraño observar, a las nuevas generaciones de ingenieros e ingenieras, apropiarse de diferentes dispositivos de una manera tan natural, que resulta envidiable a las generaciones pasadas. Para posteriormente optimizarlas, desarrollarlas e incluso comercializarlas.

La Real Academia Española (2023), define la tecnología como: “Conjunto de teorías y de técnicas que permiten el aprovechamiento práctico del conocimiento científico” y a la innovación como: “Creación o modificación de un producto, y su introducción en un mercado”.

La necesidad de participar en los mercados globales, implica de manera frontal, que los ingenieros e ingenieras actuales, desarrollen innovación además de tecnología. De lo contrario corren el riesgo de volverse obsoletos en un mundo que cambia constantemente.

En este artículo abordaremos específicamente algunas experiencias de la UNAM en su campus de FES Cuautitlán y de la UAQ en su Dirección de Innovación.

ANTECEDENTES

De acuerdo al índice global de innovación en el año 2022 (GII,2022) México se clasificó en el lugar 58 descendiendo así 3 posiciones respecto a la que obtuvo en 2021, cuando ocupaba el lugar 55.

* Dr. Alberto de Jesús Pastrana Palma. Dirección de Innovación de la Universidad Autónoma de Querétaro, Cerro de Las Campanas UAQ s/n, Querétaro Edificio de Recursos Humanos 2do piso, CP 76010. (442) 192-12-00, Extensión 3241. Correo electrónico: pastrana@uaq.mx

**Dr. Pedro Guzmán Tinajero. Departamento de Física. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM. Carretera Cuautitlán-Teoloyucan km 2.5, Cuautitlán Izcalli, Estado de México. Correo electrónico: pguzmant@cuautitlan.unam.mx.

*** Dr. Víctor Hugo Hernández Gómez. Departamento de Ingeniería. Laboratorio de Investigación en energías Renovables – UIM. FESC. Correo electrónico: vichugo@unam.mx.

**** Ing. Aide Castro Fuentes. Departamento de Física. Correo electrónico: imefuentes@hotmail.com.

***** Dr. Raúl Arturo Alvarado López- Universidad Autónoma de Querétaro, Cerro de Las Campanas UAQ s/n, Querétaro Edificio de Recursos Humanos 2do piso, CP 76010. (442) 192-12-00, Extensión 3241. Correo electrónico: pastrana@uaq.mx





Siendo superado en el rango de países de América Latina y el Caribe por Chile y Brasil.

En la actualidad resulta una verdadera necesidad que los Gobiernos inviertan en la innovación y desarrollo tecnológico, problemas como: el calentamiento global, las pandemias, la escasez de agua potable y comida, la contaminación, los conflictos bélicos, la colonización de otros planetas y lunas y el extenso crecimiento de la población y con ello el de las telecomunicaciones, abren nuevas necesidades de desarrollo, no solo para los campos de impacto frontal, sino también para la ingeniería.

Las Universidades mexicanas no se han quedado estáticas ante estas necesidades viejas y modernas. Ejemplos como la UNAM y la UAQ, muestran los avances en cuestión de innovación y tecnología mexicana.

Ejemplos claros de todo lo anterior se muestran a continuación, considerando el Claustro de Teoría Electromagnética y el Laboratorio de Investigación en Energías Renovables de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, así como la Dirección de Innovación de la Universidad Autónoma de Querétaro.

La FESC nace un 22 de abril de 1974 como el primer campus descentralizado de la Ciudad Universitaria de la UNAM, actualmente cuenta con 18 carreras de licenciatura (una de ellas a distancia) y su atención es matricular, es decir un departamento académico puede atender a diferentes carreras.

El Departamento de Física atiende nueve carreras, entre ellas varias ingenierías, para ello se han conformado claustros académicos, formados por profesores de carrera y asignatura. Entre las funciones del Claustro está la de la actualización de prácticas de laboratorio, así como empujar a los alumnos y alumnas a desarrollar tecnología e innovación.

El Laboratorio de energías renovables nace hace 20 años (2003) con el empuje de profesores como el Dr. Víctor Hugo Hernández Gómez y el Ing. Hermenegildo Bonifacio Paz, así como un puñado de alumnos entusiastas en participar en los proyectos.

Actualmente este Laboratorio cuenta con varias líneas de investigación que fortalecen la innovación y analizan diferentes cuestiones en los cambios solares, así como la transmisión y uso del calor de manera eficiente.

Por su parte la UAQ no se ha quedado atrás como muestra su historia:

“El 24 de febrero de 1951 inició sus clases la Universidad Autónoma de Querétaro con la escuela Preparatoria, la escuela de Derecho y la escuela de Ingeniería; ésta última solamente con los dos primeros grados, pues el resto se cursaba en la Facultad de la UNAM”, UAQ (2023).

Desde su fundación la UAQ, ha buscado mantenerse vigente, tanto en programas académicos de licenciatura como de posgrado, prueba de ello es que el 25 de Febrero de 2010, nace el programa doctoral: Doctor en Gestión Tecnológica e Innovación, que entre otros objetivos perseguía la formación de recursos humanos consultores e investigadores capaces de generar productos y servicios relacionados con el uso eficiente de la tecnología de manera ética y sustentable, con un gran respeto al derecho de las personas y del medio ambiente.

Muchos de los avances de la UAQ, se han logrado plasmar en la realidad contando con el apoyo de la Dirección de Innovación, donde se vinculan los proyectos a personajes reales y objetivos concretos para el beneficio común fundamentado en el impulso a la gestión de la propiedad intelectual y la transferencia de tecnología y el conocimiento que esta casa de estudios genera.

Tan sólo en el año 2022 la dirección de innovación gestionó la obtención de la propiedad industrial de 4 patentes, 3 modelos de utilidad y 2 diseños industriales, además del registro de 17 programas de cómputo, 14 obras literarias y 2 bases de datos. Además, como parte de las actividades para incentivar una cultura del emprendimiento en la comunidad estudiantil del estado, ejemplo de esto fue la realización del primer movimiento emprendedor “DETONA FEST 2023” (UAQ, 2023).

DESARROLLO

El trabajo experimental del claustro de Teoría Electromagnética nace hace 20 años en 2003, con el diseño y elaboración del primer carro eléctrico de la FESC para competencia en circuitos de velocidad, y un grupo de 20 alumnos de ingeniería apoyados por el entonces coordinador de carrera. Ver Figura 1.



Figura 1.- Primer Carro eléctrico de la FESC (2003)
Fuente: Dr. Pedro Guzmán Tinajero

Posteriormente se estableció un clúster de conocimiento, invitando al Laboratorio de energías renovables de la FESC a participar en los proyectos de innovación obteniendo excelentes resultados, como los



aplicables a la energía solar y a la transferencia de calor. Ver Figura 2.

También se desarrollaron diferentes concursos de innovación y desarrollo tecnológico para atender problemas de México, con apoyo de la Asociación Nacional de Facultades y Escuelas de Ingeniería (ANFEI) y Consejos de Innovación Tecnológica como el CONACyT y el COMECyT.



Figura 2.- Primer sistema de descarga de calor en muro de la FESC
Fuente: Dr. Pedro Guzmán Tinajero

Actualmente se desarrollan proyectos y prototipos tanto de innovación como de tecnología como parte académica del Claustro, se empuja a los alumnos a desarrollar elementos que apoyen la vida cotidiana de las personas. Abarcando principalmente a aquellas con la existencia de alguna discapacidad. Ver Figura 3.



Figura 3.- Alumnos presentando proyectos de Teoría Electromagnética y domótica (2016)
Fuente: Dr. Pedro Guzmán Tinajero

En esta línea, la UAQ con su compromiso social y el cuidado del medio ambiente fundamentado en el desarrollo tecnológico, a través

de la Facultad de Ingeniería (FI) y en particular con su departamento de energías renovables se ha encargado de desarrollar e implementar tecnologías para el uso y aprovechamiento de las energías renovables como la energía solar- fotovoltaica, eólica, termo-solar, geotérmica, así como el desarrollo de biocombustibles.

Algunos de los ejemplos más destacados son el proyecto de auto eléctrico “E-FACI” liderado por un grupo de investigadores que ha trabajado en el procesamiento de señales, automatización y reconversión de autos de combustión interna en autos eléctricos. Actualmente se cuenta con un prototipo con diseño propio que trabaja al servicio de la FI con la tecnología instalada. Ver Figura 4.



Figura 4.- Auto eléctrico UAQ “E-FACI”
Fuente: Circulo Noticias (2020)

Otro proyecto destacado, por su grado de madurez es EoliUAQ que surge en 2013 en el área de Mecánica del Posgrado de la FI, como un grupo líder en diseño, manufactura, ensamble, consultoría y todo tipo de servicios durante la vida útil de los aerogeneradores desde el inicio hasta el desmontaje. El proyecto que ha dado como resultado el diseño y fabricación del primer aerogenerador cien por ciento UAQ y que se instaló en una primera instancia en el techo del edificio de rectoría en 2015 y posteriormente en 2017 fue reubicado en el campus aeropuerto de esta casa de estudios y en donde se sigue perfeccionando la tecnología. Ver Figura 5.



Figura 5.- Aerogenerador-UAQ
Fuente: Diario Querétaro (2017)



De manera general, algunos otros ejemplos de tecnologías innovadoras desarrolladas en la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ) son:

1. Tecnología de captura y almacenamiento de carbono: La UAQ ha estado trabajando en el desarrollo de tecnologías para capturar y almacenar el dióxido de carbono (CO₂) generado por las industrias. Esto contribuye a mitigar los efectos del cambio climático y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.
2. Materiales avanzados: La UAQ ha realizado investigaciones en el campo de los materiales avanzados, incluyendo la creación de nuevos materiales con propiedades especiales. Por ejemplo, se han desarrollado materiales cerámicos resistentes al desgaste y a altas temperaturas, los cuales tienen aplicaciones en la industria aeroespacial y automotriz.
3. Energías renovables: La UAQ ha llevado a cabo investigaciones en energías renovables, centrándose en el desarrollo de tecnologías solares y eólicas. Esto incluye el diseño y la optimización de paneles solares y turbinas eólicas más eficientes, así como la integración de estas fuentes de energía en la red eléctrica.
4. Biotecnología y ciencias de la salud: La UAQ ha realizado avances significativos en el campo de la biotecnología y las ciencias de la salud. Esto incluye la creación de biosensores para detectar enfermedades, el desarrollo de medicamentos y terapias innovadoras, así como la aplicación de técnicas de ingeniería genética para mejorar la producción de alimentos y el tratamiento de enfermedades.
5. Tecnologías de información y comunicación: La UAQ ha desarrollado proyectos en el ámbito de las tecnologías de información y comunicación (TIC), como la creación de aplicaciones móviles para el monitoreo de la calidad del aire, sistemas de inteligencia artificial para el análisis de grandes volúmenes de datos y el desarrollo de soluciones tecnológicas para mejorar la eficiencia de los procesos empresariales.

Estos son solo algunos ejemplos de las tecnologías innovadoras desarrolladas en la UAQ. La universidad continúa trabajando en diversas áreas de investigación y desarrollo, con el objetivo de impulsar la innovación y contribuir al avance científico y tecnológico en México.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Para Gault y Zhang (2012), la importancia de la innovación en sectores prioritarios es fundamental para afrontar los actuales retos económicos y sociales, donde las universidades y en particular sus áreas de ingeniería son capaces de impulsar acciones y soluciones pertinentes fundamentadas en el aprovechamiento de sus capacidades e infraestructuras científicas y tecnológicas. Esto en concordancia a que las universidades (especialmente las públicas) además de cumplir sus funciones de educar e investigar, es importante la difusión de los resultados hacia el mercado y/o la

sociedad fundamentada en la transferencia de la tecnología y el conocimiento.

La universidad con actor central de cualquier sistema de innovación puede ser capaz de impulsar el desarrollo nacional, regional y local, aportando a la vez a la erradicación de las diferentes desigualdades estructurales (económicas y sociales) que persisten en nuestro país y hacer frente a los efectos del cambio climático fundamentado en la investigación de frontera y el desarrollo tecnológico que ellas generan y acumulan.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- [1] Dettmer, J. (2003). Revista de la Educación Superior. Vol. XXXII (4), No. 128, Octubre-Diciembre de 2003, pp. 81-93. ISSN: 0185-2760
- [2] Real Academia de la Lengua Española (2023). [Fecha consulta: 14/05/2023]. <https://dle.rae.es/innovar/>
- [3] GII (2022). [Fecha consulta: 14/05/2023]. Tomado de: <https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo-pub-2000-2022-section1-en-gii-2022-at-a-glance-global-innovation-index-2022-15th-edition.pdf>
- [4] FESC (2023). [Fecha consulta: 14/05/2023] <https://www.cuautitlan.unam.mx/licenciaturas/itse/>. México 2023.
- [5] UAQ (2023a). [Fecha consulta: 14/05/2023] <https://www.uaq.mx/index.php/conocenos/sobre-la/historia>. México 2023.
- [6] UAQ (2023b). 5to Informe/Teresa García Gasca. <https://rectoria.uaq.mx/index.php/informes/5to-informe>
- [7] Gault, F. y Zhang, G. (2012). Foro Consultivo Científico y Tecnológico. pp. 81-93. ISBN: 978-607-9217-06-8
- [8] Circulo Noticias (2020). [Fecha consulta: 16/06/2023] <https://circularnoticias.com/uaq-desarrolla-e-faci-el-automovil-electrico-creado-por-universitarios/> México 2023.
- [9] Diario de Querétaro (2017). [Fecha consulta: 16/06/2023] <https://www.diariodequeretaro.com.mx/local/instalaran-primer-generator-eolico-que-diseno-la-uaq-448929.html>. México 2023.

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Pedro Guzmán Tinajero. Doctor en Gestión Tecnológica e Innovación. Responsable del Claustro de Teoría Electromagnética del Departamento de Física de la FES Cuautitlán y Profesor de carrera del Departamento de Física de la FES Cuautitlán.





Aide Castro Fuentes. Ingeniera Mecánica Electricista. Miembro del Claustro de Teoría Electromagnética del Departamento de Física de la FES Cuautitlán de la UNAM.

Ramón Osorio Galicia. Doctor en Educación. Miembro del Claustro de Teoría Electromagnética del Departamento de Física de la FES Cuautitlán y Profesor de carrera del Departamento de Física de la FES Cuautitlán.

Víctor Hugo Hernández Gómez. Doctor en Ingeniería. Responsable del Laboratorio en Energías Renovables de la FES Cuautitlán. Profesor de carrera del Departamento de Ingeniería de la FES Cuautitlán.

Raúl Arturo Alvarado López. Doctor en Economía por la Universidad Nacional Autónoma de México. Entre sus líneas de investigación se encuentran Gestión de la Innovación, TIC y Territorios Inteligentes, Innovación y Medio Ambiente, y Sistemas de Innovación.

Alberto de Jesús Pastrana Palma, Director de Innovación de la Universidad Autónoma de Querétaro. Doctor en Ciencias Computacionales por la Universidad de East Anglia.





Diseño y fabricación de un molino de granos de cosecha (MOLITEC)

Gabriel Sauza Salinas, Ignacio Cedillo Villagrán, Nancy Guadalupe Torres Nieto, Andrea Deyanira Reyes Gutiérrez

RESUMEN

La presente investigación muestra el desarrollo de un molino para granos de cosecha como lo son el café, maíz y trigo generando una molienda que permite una extracción eficiente y de calidad, conservando así, todas sus características de su sabor, satisfaciendo las necesidades de las pequeñas y medianas empresas. El molino de granos es una máquina mexicana que emplea, materiales de grado alimenticio como lo es el acero inoxidable T-304, brindando seguridad al operador, reduciendo la fatiga, e inclusive aumentando la productividad. El objetivo que se planteó fue; diseñar y fabricar un molino para granos de cosecha que sea eficiente a manera de satisfacer las necesidades de las Pymes productoras de grano. Pudiendo ofrecer al mercado meta, un molino de bajo costo a comparación de los que se encuentran hoy en el mercado, que les permita un aumento en sus ventas y utilidades para ellos, así como una reducción en costos de mantenimiento con base en los criterios de diseño establecidos, permitiendo una vida extensa a la máquina basándose en la normatividad. Los productores, al no contar con un molino se ven obligados a reducir el costo de venta de su producto.

ABSTRACT

The present investigation shows the development of a mill for harvested grains such as coffee, corn and wheat, generating a grinding that allows an efficient and quality extraction, thus preserving all its flavor characteristics, satisfying the needs of small and medium-sized companies. The grain mill is a Mexican machine that uses food grade materials such as stainless steel T-304, providing safety to the operator, reducing fatigue, and even increasing productivity. The objective was to design and manufacture an efficient grain mill to satisfy the needs of small and medium-sized grain producers. Being able to offer to the target market, a low cost mill compared to those currently in the market, allowing them an increase in sales and profits for them, as well as a reduction in maintenance costs based on the established design criteria, allowing an extended life to the machine based on the regulations. The producers, not having a mill, are forced to reduce the cost of sale of their product.

Palabras claves: Máquina; Eficiencia; Granulometría; Molienda; Agroindustrial.

INTRODUCCIÓN

El Sistema Alimentario trasciende derivado de cambios donde el consumo de alimentos determina la forma de producción agroalimentaria. La Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) resalta que “en la comercialización de granos básicos pueden identificarse distintos canales de distribución que siguen estos productos, desde el productor hasta el consumidor, lo que demuestra que el ciclo de flujo es complejo, y por lo tanto encarece su comercialización”. El valor económico, alimenticio, agrícola e industrial de los granos demanda cuidados especiales en el almacén para conservar su calidad, pero cuya composición sigue vigente para 2020.

En México se consideran como granos básicos a aquellos alimentos imprescindibles en la dieta diaria, los cuales son el maíz, el frijol, el trigo y el arroz; tales productos son grandes contribuyentes a la seguridad alimentaria. México cuenta con un territorio de 196 millones de hectáreas, de éstas, 24.6 millones son utilizadas para la agricultura; durante el ciclo agrícola 2018, 29.9 por ciento se destinaba para maíz, 2.2 por ciento para trigo. El Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) registra la participación de 5.9 millones de personas en la preparación y cosecha de la tierra, de los cuales cerca del 50 por ciento son productores de maíz, menos de 10 por ciento de frijol y menos de 2 por ciento de trigo y arroz.

A nivel nacional la producción de granos y carnes es de suma importancia ya que el consumo de estos productos se presenta en todos los hogares, independientemente del nivel de ingreso [1].

PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN

Dentro de nuestro país hay gran población dedicada a la producción y venta de café y otros granos, los precios del mercado y la calidad de la cosecha son impredecibles, muchos productores venden su producto a un bajo costo a las grandes empresas.

El presente proyecto se propone diseñar y fabricar una máquina empleada para un mejor método de preparamiento, procesamiento y triturado de granos de cosecha y así obtener una extracción de calidad.

A través de esta máquina se ayudaría a que los productores puedan moler su propio grano y no venderlo a las grandes empresas a un bajo costo, con este molino se obtendrán más ganancias ya que los

TecNM - Instituto Tecnológico de Tlalnepantla, Departamento de Metal-Mecánica, gabriel.ss@tlalnepantla.tecnm.mx, Ingeniero Mecánico, Electromecánico, Maestra en Tecnologías de la información y Administración.





productores pueden sacar a la venta su producto sin tener que negociar tanto su precio.

OBJETIVO

Diseñar y fabricar un molino para granos de cosecha que sea eficiente a manera de satisfacer las necesidades de las Pymes productoras de granos de cosecha.

REFERENTES TEÓRICOS

Molino manual / Historia

El Molino manual se usó en la antigüedad para obtener la harina para el pan diario y para la molienda del maíz, lo cual trajo su desarrollo; en Inglaterra, en los años 1800, se hicieron grandes Molinos manuales de manivela; el siguiente paso entonces, fue la fabricación de un modelo de mesa, ya que, hasta entonces, los Moledores eran artefactos de piso, por su peso.

La revolución industrial trajo entonces también sus debidos aportes, primero con una máquina para refinar la pasta del cacao y mezclarla con azúcar, en el año 1802.

Es así como en el año de 1897, la compañía norteamericana "Landers, Frary & Clark" desarrolló el conocido Molino de Granos en hierro fundido, el cual patentó 11 años después, en 1908. Este fue un modelo manual que dio origen a muchos de sus descendientes para otras aplicaciones, como los molinos de carnes, frutas, verduras y otros especializados para harinas. Este fue un modelo manual que dio origen a muchos de sus descendientes para otras aplicaciones, como los molinos de carnes, frutas, verduras y otros especializados para harinas [2].

Molino de café / Historia

Lamentablemente, al igual que sucede con muchos otros inventos de la humanidad, no se conoce quién es el inventor del molinillo. Pero fue hacia el año 1687, sin que conozcamos el nombre del ingenioso inventor del molinillo de mano, cuando éste se convirtió en fiel colaborador del ama de casa. Gracias a este ingenio, pudo difundirse el consumo de una bebida como el café, muy exótica todavía a finales del XVII.

Se trataba de un artilugio tosco hecho de complicados engranajes, y que molía de forma tan desigual que entre los restos o cibera que se colaban escapaban a menudo incluso granos enteros [3].

Los primeros molinos eléctricos para *expresso* fueron los de la dosificación manual que aún hoy en día existen pero que presentan grandes limitaciones a la hora de preparar café de altísima calidad por lo que el estándar de la industria poco a poco se dirige hacia los molinos automáticos [4].

METODOLOGÍA

Las actividades realizadas en el diseño y fabricación del molino para granos de cosecha son las siguientes:

1. Estudio de mercado. Las actividades se iniciaron a partir de la información que el estudio pueda ofrecer. Esta contiene el análisis

de las necesidades de dicho mercado, la magnitud de este, su ubicación geográfica y algunas otras características. Además, da una idea clara del precio que dichos usuarios o consumidores pueden pagar por el producto, que permita establecer si es viable en el mercado.

2. Características del producto. Se traducen las necesidades del mercado a características generales del producto satisfactor, estableciendo los criterios de diseño, especificaciones y restricciones.

3. Dibujos previos. Se plasmaron en un bosquejo la mejor solución posible que muestra las formas y elementos del molino que den respuesta a los criterios de diseño establecidos.

4. Esquemas. Se utilizaron símbolos normalizados para la representación de la interacción de los elementos y mecanismos del molino que actúan en la transmisión de movimientos a través de sus sistemas que lo conforman.

5. Cálculos. Se emplearon los procedimientos y técnicas para determinar la geometría, materiales y dimensiones de todos los componentes del molino.

6. Dibujos de estudio. Se realizó el ensamble de todos los componentes, afín de detectar errores o faltantes en los elementos de máquina anteriormente calculados.

7. Prototipo. Consistió en la fabricación del molino utilizando diferentes procesos de manufactura tales como soldadura, corte, doblado y maquinados.

8. Pruebas de funcionamiento. Se realizó un programa de pruebas que permitieron satisfacer plenamente lo especificado inicialmente: voltaje de alimentación, velocidad, consumo de energía, vibración, capacidad de producción. En caso de que alguna prueba resultara insatisfactoria se ejecutan los ajustes y modificaciones pertinentes.

9. Dibujos a detalle. Se definió cada una de las piezas que forman el producto (estructura, poleas, motor eléctrico, bandas, controles, etc.) estableciendo sus formas geométricas, dimensiones nominales, tolerancias, material del cual está fabricada la pieza, tratamientos en su caso y acabados en su caso para cada pieza.

10. Dibujos de conjunto. Se plasmo la relación física que guardan las piezas que lo integran, la identificación con números o letras de cada una de las piezas que forman el sistema y se muestra el número de ellas que intervienen en cada conjunto.

11. Manual de usuario. Se aseguro el buen funcionamiento de la máquina con un manual que contiene toda la información necesaria para que el usuario la pueda operar sin problema alguno.



12. Estudio económico. Se llevo a cabo el presupuesto de los ingresos y egresos en la elaboración de la máquina para conocer el costo de fabricación estándar.

RESULTADOS

1. Estudio de mercado

Con este estudio se evaluó si el producto es viable en el mercado enfocándolo a las Pymes ubicadas en la CDMX y el Estado de México, utilizando como herramienta la encuesta con una serie de preguntas cerradas. Se calculó el número de encuestas a realizar utilizando la ecuación para calcular el tamaño de muestra para poblaciones finitas, dándonos como resultado una muestra de 100 Pymes.

Se muestra a continuación el resultado de la pregunta más significativa:

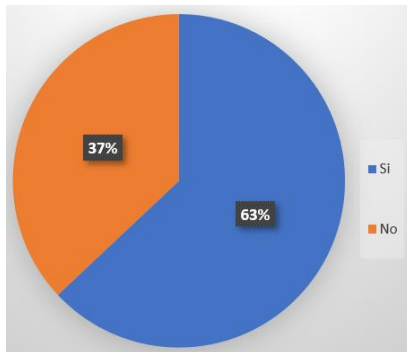


Figura 1. Resultado de encuesta ¿Le gustaría tener un molino para granos en su negocio? (Gráfica realizada por los autores).

Con base a los resultados se concluye que el molino para granos es viable para las Pymes ya que el 63 % de los encuestados estaría dispuestos a invertir en un molino para granos.

2. Características del producto

Criterios de diseño:

- Fácil operación.
- Económica.
- Mantenimiento no invasivo.
- Segura.
- Diseño compacto.

Tamaño:

- Largo: 64 cm.
- Ancho: 71 cm.
- Altura: 148 cm.

Capacidad de molienda: aproximadamente 35 kg/h.

3. Dibujos previos

Se muestra la solución en un dibujo ilustrando las formas y elementos del molino para granos de cosecha, dando respuesta a los criterios de diseño antes citados (Figuras 2 y 3).

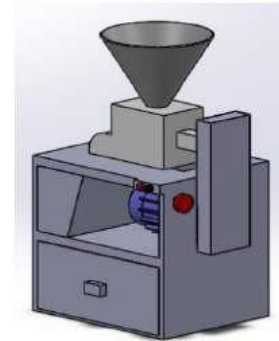


Figura 2. Vista en isométrica (Diseño realizado por los autores).

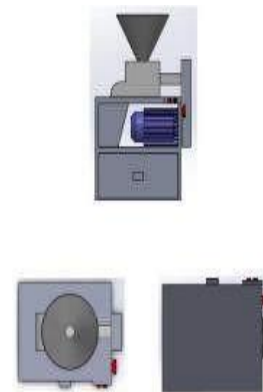
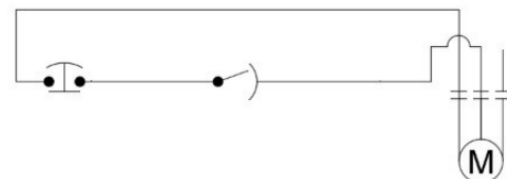


Figura 3. Vista posterior, inferior y frontal (Diseños realizado por los autores).

4. Esquemas

Los esquemas necesarios para la operación funcional del molino (Figura 4 y 5) son:





Simbología	Descripción
	Motor Trifásico.
	Switch selector.
	Interruptor paro de emergencia.

Figura 4. Esquema eléctrico (Esquema realizado por los autores).

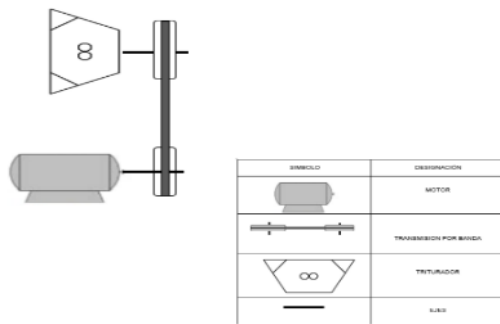


Figura 5. Esquema cinemático (Esquema realizado por los autores).

5. Cálculos [4]

Se realizaron diferentes cálculos de los diversos componentes de la máquina los cuales fueron: Potencia del motor, estructura, transmisión por banda, rodamientos, tornillos y componentes eléctricos. (Figura 6).



Figura 6. Cálculo y selección de elementos normalizados (Fotografías tomadas por los autores).

6. Dibujos de estudio

Se muestran los dibujos que nos permiten visualizar la integración de todos los elementos (Figura 7 y 8).

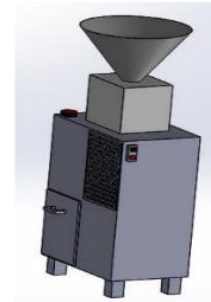


Figura 7. Vista isométrica (Diseño realizado por los autores).

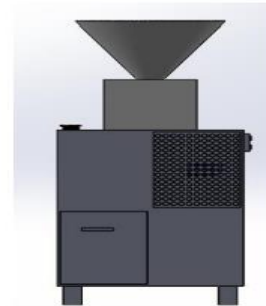


Figura 8. Vista frontal (Diseño realizado por los autores).

7. Prototipo

Se muestran las fotografías que nos permiten apreciar el ensamble de los componentes que conforman el molino de granos de cosecha (Figura 9).



Figura 9. Vista frontal, lateral y trasera del prototipo (Fotografía tomada por los autores).



8. Pruebas de funcionamiento

Las pruebas realizadas al molino de granos de cosecha permiten verificar las características del producto antes planteadas y cumplir con la norma para molinos mezcladores NMX-O-122-1976 [6].

8.1. Prueba de tensión de alimentación.

Se procede abriendo la carcasa de la botonera, se localizan las terminales y se coloca una punta del multímetro una en cada línea, posteriormente se enciende el voltímetro y se activa la botonera para que pase corriente y se verifica en el voltímetro el valor obtenido. El consumo de energía es de 123.2 V., lo cual quiere decir que está dentro del rango de lo establecido en la norma para molinos mezcladores NMX-O-122-1976 que indica que el motor debe operar a una tensión monofásica de 120 V. de C.A. con una tolerancia de ± 10 (Figura 10) [6].

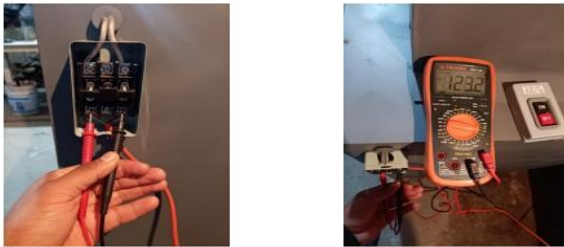


Figura 10. Prueba de tensión de alimentación (Fotografía tomada por los autores).

8.2. Prueba de limpieza.

Se realizó la limpieza utilizando líquidos satinados para la desinfección de todos los elementos que están en contacto directo con los granos de cosecha y así prolongar la vida útil de la máquina, asegurando una calidad óptima de los alimentos frente a influencias químicas garantizando la higiene. (Figura 11).



Figura 11. Prueba de limpieza (Fotografía tomada por los autores).

8.4. Prueba de capacidad de producción.

Se coloca el grano a moler dentro de la tolva, una vez colocado el grano se enciende el motor para hacer funcionar el molino a su máxima velocidad, esperar a que el grano molido se deposite dentro del cajón. La máquina tiene una capacidad de producción de 43.9 kg/h (Figura 12).



Figura 12. Prueba de capacidad de producción (Fotografía tomada por los autores).

9. Dibujos de detalle

A continuación, se muestran el dibujo de la estructura del molino de granos de cosecha (Figura 13).

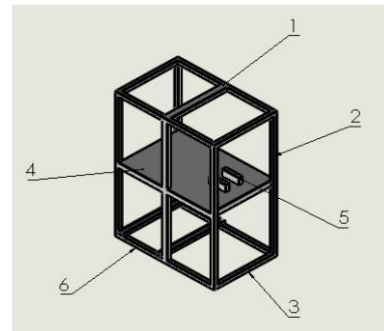


Figura 13. Estructura de la máquina (Diseño realizado por los autores).

10. Dibujos de conjunto

Se muestra un dibujo que muestra todos los componentes del molino de granos de cosecha (Figura 14) (Tabla 1).

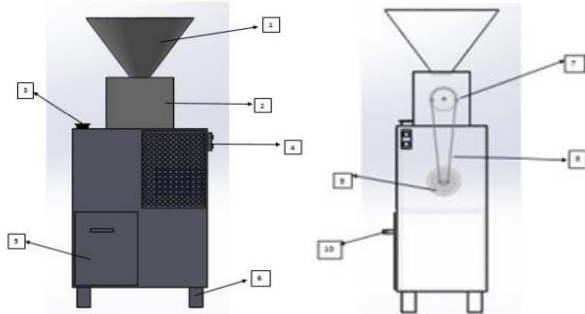


Figura 16. Conjunto de componentes (Diseño realizado por los autores).

Tabla 1. Componentes del molino de grano de cosecha.

Número de Pieza	Descripción
1	Tolva
2	Cajón de seguridad
3	Paro de emergencia
4	Botonera
5	Cajón de almacén
6	Patatas de máquina
7	Polea de molino
8	Banda
9	Polea de motor
10	Manija de cajón
11	Molino

DISCUSIÓN

Se ofrece a la agroindustria un molino para granos de cosecha que acelera el molido de los granos mediante tecnología nacional que permite el aumento de la producción, reducción de tiempo de producción, siendo seguro eficiente, económico e innovador basándose su diseño hacia las Pymes, teniendo como finalidad ser productivo y cumpla con la demanda de los clientes, reduciendo los costos de mantenimiento, permitiendo una larga vida de la máquina basándose en normatividades de los materiales de acero de grado alimenticio en comparación con los que se venden en el mercado.

CONCLUSIONES

Con base en los resultados que se obtuvieron se concluye que el molino para granos de cosecha es un producto viable y de calidad, mismo que ayudara a los productores de granos a incrementar su producción con una inversión mínima esto debido a que el costo de fabricación estándar obtenido garantiza que el precio de venta de nuestro molino está por debajo de los que se encuentran en el mercado, además de que el molino es un producto innovador que garantiza un buen molido de granos con una capacidad de producción de 43.9 kg/h. Con lo descrito anteriormente podemos asegurar que el molino para granos de cosecha es un desarrollo tecnológico que busca atender principalmente las necesidades de los productores de granos. Como trabajo a corto plazo se buscará

ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial la búsqueda de los formatos de fondo y forma para la obtención de un registro como modelo de utilidad o patente según sea el caso [7].

REFERENCIAS

- [1] CEDRSSA, “Distribución de granos básicos: lugar de adquisición o compra”, cedrssa.gob.mx, mayo 2022. Disponible en: http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/6Distribucio%CC%81n_granos_ba%CC%81sicos.pdf.
- [2] J. A. Ossa Cataño, Molido a golpes, ICONOFACTO, vol. 5, n° 6, pp 51-68, diciembre 2009.
- [3] CurioSfera, “Historia del molinillo de café”, CurioSfera-Historia.com, marzo 2020. [En línea]. Disponible en: <https://curiosfera-historia.com/historia-molinillo-cafe-origen-inventor/>.
- [4] Fabiola Solano J. “Caracterizando el molino para café”, Soy Barista, 05-06-2022. Disponible en: <https://www.soybarista.com/caracterizando-el-molino-para-cafe>.
- [5] R. G. Budynas y J. K. Nisbett, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. México: Mc Graw Hill.
- [6] “Molinos Mezcladores-Trituradores Industriales”, Norma Mexicana NMX-O-122-1976.
- [7] "Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial | Gobierno | gov.mx". El portal del gobierno. | gov.mx. <https://www.gob.mx/impi>.

INFORMACIÓN ACADEMICA

Ing. Gabriel Sauza Salinas: Catedrático y jefe de laboratorio de manufactura básica en el TecNM – Instituto Tecnológico de Tlalnepantla.

Ing. Ignacio Cedillo Villagrán: Catedrático en el TecNM – Instituto Tecnológico de Tlalnepantla.

M.G.T.I. Nancy Guadalupe Torres Nieto: Catedrática en el TecNM – Instituto Tecnológico de Tlalnepantla.

M.E. Andrea Deyanira Reyes Gutiérrez: Catedrática en el TecNM – Instituto Tecnológico de Tlalnepantla.



Diseño y fabricación de una máquina desespinaadora y cortadora de nopales incrementando la productividad de los comerciantes (NOPALTEC)

Gabriel Sauza Salinas, Jesús Eduardo Barocio Rodríguez, Marco Antonio Peña Aguilar, Brandon Nicolas Justo, Erick Martínez Álvarez

RESUMEN

El presente proyecto muestra los resultados obtenidos en el diseño y fabricación de una máquina desespinaadora y cortadora de nopal, empleando tecnología nacional, aprovechando en su totalidad la forma entera generando un mínimo de residuos y el desprendimiento de las espinas, dándole valor agregado en la etapa final de su cosecha, satisfaciendo la demanda del mercado, debido a que actualmente se realiza el desespinado y corte de nopal de forma manual, en consecuencia se presentan problemas tales como: desgaste físico, fatiga, baja producción y limpieza no uniforme.

La máquina por sus criterios de diseño es innovadora, segura y eficiente, ofreciendo solución a los problemas de la industria del nopal y sus derivados, siendo un producto viable, que ayudará a incrementar la producción, con una baja inversión, alta calidad y seguridad para el operador, debido a que el costo de las máquinas existentes en el país representa una mayor inversión para los agricultores o productores, siendo este nuestro mercado meta.

ABSTRACT

This project shows the results obtained in the design and manufacture of a nopal de-spinning and cutting machine, using national technology, taking full advantage of the whole form, generating a minimum of waste and the detachment of the thorns, giving added value in the final stage of the harvest, satisfying the market demand, because currently the de-spinning and cutting of nopal is done manually, with the consequence of presenting problems such as: physical wear, fatigue, low production and non-uniform cleaning.

The de-spinning and cutting machine by its design criteria is innovative, safe and efficient that gives solution to the problems of the nopal industry and its derivatives, being a viable product, which will help to increase production, with a low investment, high quality and safety for the operator, because the cost of existing machines in the country represents a higher investment for farmers or producers, being this our target market.

Palabras claves: Desespinaadora; Cortadora; Limpieza; Calidad; Tecnología Nacional.

INTRODUCCIÓN

El nopal es uno de los cultivos más representativos de México por su importancia económica, social y cultural, se tienen muchas variantes para poder consumir el nopal como en jugo, licor, tortillas, mermelada, medicamentos, gastronomía entre otros.

Con esta máquina se pretende aumentar la productividad al 100 %, incrementando los ingresos de los agricultores e industriales, considerando que las máquinas existentes en el mercado son de costos elevados, por tal motivo, no sería rentable para una pequeña y mediana empresa.

Se busca desarrollar un nuevo mercado para los productores de este ramo, generando una mejor calidad y confiabilidad para satisfacer sus necesidades.

El desarrollo de este proyecto consiste en diseñar y fabricar una máquina eficiente para la limpieza y el corte del nopal, con la cual el operador eliminará procesos manuales, ayudando a acelerar la productividad, que es una etapa indispensable para consumo humano. En esta se obtendrá una eficiencia aceptable del producto en su totalidad, optimizando los tiempos en estos procesos. Implementando materiales conforme a la norma "NOM-251-SSA1-2009" [1], asegurando la calidad y rendimiento de la máquina mediante la implementación de tecnología nacional.

PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo surge de la necesidad que actualmente padecen comerciantes y campesinos al momento de desespinar y cortar nopales para su venta, presentando desventajas tales como: desgaste físico, baja producción y calidad.

Por lo anterior se desarrollará una máquina desespinaadora y cortadora de nopal que satisfaga las necesidades, que se adapten al espacio de los campesinos y comerciantes, con tiempos de producción más cortos, con altos estándares de calidad, garantizando una limpieza y un corte del nopal uniforme.

Este proyecto busca volver a las bases de la ingeniería y poder proporcionar una máquina de bajo costo a la industria alimentaria que cumpla con las normas de higiene y seguridad para evitar accidentes garantizando calidad en la venta del nopal.

TecNM - Instituto Tecnológico de Tlalnepantla, Departamento de Metal-Mecánica, gabriel.ss@tlalnepantla.tecnm.mx, Ingeniero Mecánico y Estudiantes de 9° Semestre de Ingeniería Mecánica.





OBJETIVO

Diseñar y fabricar una máquina desespinaadora y cortadora de nopal con tecnología nacional que satisfaga las necesidades de los comerciantes y campesinos dedicados a la cosecha y venta del nopal.

REFERENTES TEÓRICOS

Dentro de los métodos utilizados para el desespinado y corte del nopal se aplican los siguientes pasos [2]:

1. Los criterios para la selección del material vegetal consideran un nopal con color verde brillante y firme.
2. Se enjuagan los nopales con agua fría.
3. Con un pelador de verduras o cuchillo pequeño con filo, igual que si fuera un espárrago se procede a pelar los bultos o bordes y sus espinas, apoyando el nopal sobre una tabla de madera, después se enjuagan nuevamente. No se necesita pelar la piel verde oscura, más bien se debe dejar lo más intacta que se pueda.
4. Colocar el nopal sobre la tabla de madera y cortar 0.5 cm de la orilla y 1 cm de la base.
5. Después se corta el nopal en la forma y tamaño que se desee, también se puede dejar entero si se va a usar o agregar otro ingrediente encima.

Desde hace miles de años, la limpieza en los productos agrícolas es una práctica que poco se ha innovado desde entonces, ya que, hoy en día, se utilizan los mismos procesos manuales. No obstante, las máquinas que se han desarrollado no permiten una buena limpieza y calidad de la materia prima.

Existen dos tipos básicos de máquinas desespinaadoras y cortadoras de nopales son las siguientes [3]:

- Máquina desespinaadora NOPALLI.
- Máquina trazadora NOPALLI.

Máquina desespinaadora NOPALLI.

Este tipo de máquina ha sido diseñada considerando las diferentes variables que presenta, esta cuenta con diferentes ajustes de corte a fin de maximizar la eficiencia del desespinado.

Máquina trazadora NOPALLI.

Esta máquina complementa la desespinaadora y opera en forma independiente. Troza todas las variedades de nopal siempre y cuando no exceda de los 2.5 cm de espesor y 20 cm de ancho no importando el largo.

METODOLOGÍA

Las actividades realizadas en el diseño y fabricación de la máquina desespinaadora y cortadora de nopales son las siguientes:

1. Estudio de mercado. Las actividades se iniciaron a partir de la información que el estudio pueda ofrecer. Esta contiene el análisis de las necesidades de dicho mercado, la magnitud de este, su ubicación geográfica y algunas otras características. Además, da una idea clara del precio que dichos usuarios o consumidores pueden pagar por el producto, que permita establecer si es variable en el mercado.
2. Características del producto. Se detectaron las necesidades del mercado a características generales del producto satisfactor, estableciendo los criterios de diseño, especificaciones y restricciones.
3. Dibujos previos. Se plasmaron en un bosquejo la mejor solución posible que muestre las formas y elementos de la desespinaadora y cortadora de nopales que den respuesta a los criterios de diseño establecidos.
4. Esquemas. Se utilizaron símbolos normalizados para la representación de la interacción de los elementos y mecanismos de la máquina desespinaadora que actúan en la transmisión de los movimientos a diversos sistemas y los controles de mando a distancia.
5. Cálculos. Se emplearon los procedimientos y técnicas para determinar la geometría, materiales y dimensiones de todos los componentes de la desespinaadora.
6. Dibujos de estudio. Se realizó el ensamble de todos los componentes, afín de detectar errores o faltantes en los elementos de máquina anteriormente calculados.
7. Prototipo. Consistió en la construcción de la desespinaadora utilizando diferentes procesos de fabricación tales como soldadura, corte, doblado y maquinados.
8. Pruebas de funcionamiento. Se realizó un programa de pruebas que permitieron satisfacer plenamente lo especificado inicialmente: voltaje de alimentación, velocidad, consumo de energía, vibración, capacidad de producción. En caso de que alguna prueba resultara insatisfactoria se ejecutan los ajustes y modificaciones pertinentes.
9. Dibujos a detalle. Se definió cada una de las piezas que forman la máquina (estructura, husillo, motor eléctrico, poleas, catarinas, banda, rodajas, etc.) estableciendo sus formas geométricas, dimensiones nominales, tolerancias, material de que está fabricada cada pieza, tratamientos y acabados en su caso para cada elemento.
10. Dibujos de conjunto. Se plasmo la relación física que guardan los elementos que lo integran, la identificación con números o



letras de cada una de las piezas que forman los sistemas y se muestran los números que intervienen en cada conjunto.

11. Manual de usuario. Se asegure el buen funcionamiento de la máquina con un manual que contiene toda la información necesaria para que el usuario la pueda operar sin problema alguno.

12. Estudio económico. Se llevo a cabo el presupuesto de los ingresos y egresos en la elaboración de la máquina para conocer el costo de fabricación estándar.

RESULTADOS

1. Estudio de mercado

Con este estudio se evaluó si el producto es viable en el mercado enfocándolo a los campesinos y comerciantes ubicados en la CDMX y Estado de México, utilizando como herramienta la encuesta con una serie de preguntas abiertas y cerradas. Se calculó el número de encuestas a realizar utilizando la ecuación para calcular el tamaño de muestra para poblaciones finitas, dándonos como resultado una muestra de 100 campesinos y comerciantes.

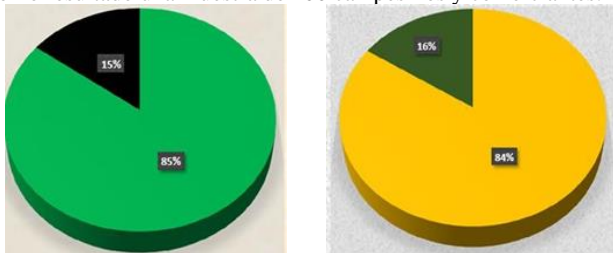


Figura 1. Resultados de la encuesta: a) ¿Qué método ocupan para desespinar nopales? b) ¿Le gustaría una máquina con tecnología nacional que limpie y corte los nopales con base en calidad y normatividad? (Gráficas realizadas por los alumnos).

Con base a los datos obtenidos anteriormente por la encuesta realizada, La mayoría de los consumidores de nopal prefieren obtenerlo con un proceso de limpieza previo, ya que esto hace más fácil su uso. De acuerdo a esto el 85 % de los encuestados desespinan el nopal de manera manual y un 84 % estaría dispuesto a invertir en una máquina limpiadora e innovadora, Por lo tanto, es viable la fabricación de la máquina desespinaadora y cortadora de nopales debido a su interés en el mercado existente.

2. Características del producto

Criterios de diseño:

- Fácil operación.
- Económica.
- Mínimo mantenimiento.
- Fácil limpieza.
- Segura.
- Fácil transportación.

- Diseño compacto.

Tamaño:

- Ancho: 41 cm.
- Largo: 70 cm.
- Altura: 118 cm

Limpiar y cortar aproximadamente 400 nopales en 10 min.

3. Dibujos previos

A continuación, se presenta la mejor solución planteada en un dibujo que muestra las formas y elementos de la boleadora de masa que dan respuesta a los criterios de diseño antes citados (Figura 2 y 3).

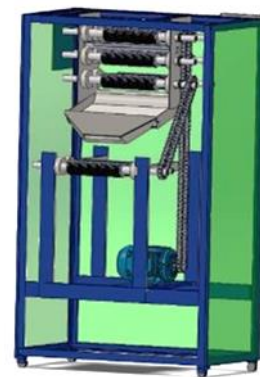


Figura 2. Vista en isométrica (Diseño realizado por los alumnos).

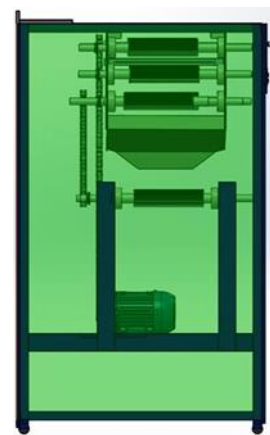
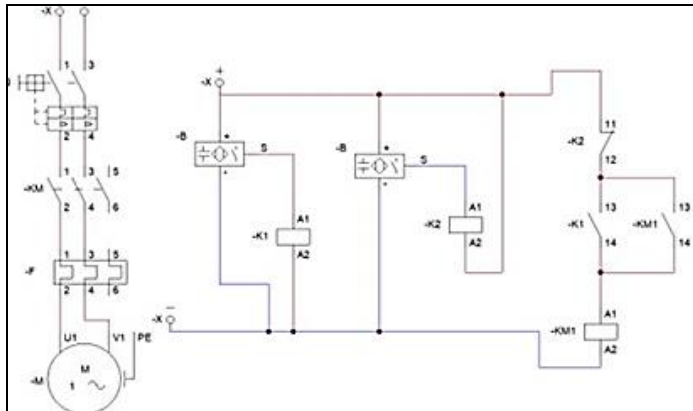


Figura 3. Vista posterior (Diseño realizado por los alumnos).

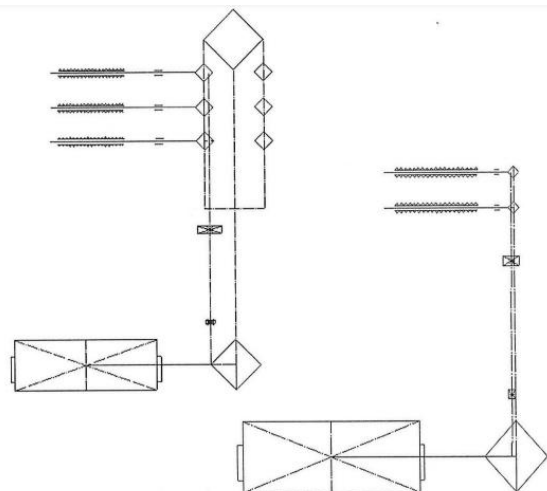
4. Esquemas

Los esquemas necesarios para la operación de la máquina desespinaadora y cortadora de nopales (Figura 4 y 5) son:



SIMBOLOGIA	DESCRIPCION
	MOTOR MONOFASICO
	RELE TERMICO
	CONTACTOR
	PULSADOR (N.C.)
	BOBINA
	CONTACTO (N.A.)

Figura 4. Esquema eléctrico (Esquema realizado por los alumnos).



SIMBOLOGIA	DESCRIPCION
	RODAMIENTOS
	MOTOR
	CATARINAS
	JUEGO DE CADENA
	MECANISMO DESESPINADORES
	MECANISMO CORTADORES

Figura 5. Esquema cinemático (Esquema realizado por los alumnos).

5. Cálculos [4]

Se realizó diferentes cálculos de los diversos componentes de la máquina los cuales fueron: potencia del motor, estructura, rodillos, transmisión por cadena, rodamientos, tornillos y componentes eléctricos. (Figura 6).

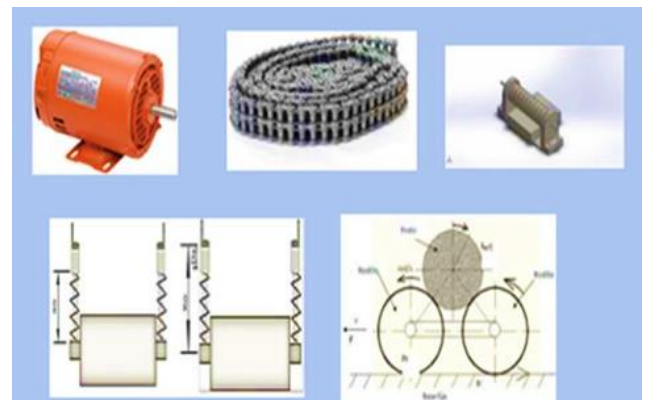


Figura 6. Calculo y selección de elementos normalizados. (Diseños realizados por los alumnos).



6. Dibujos de estudio

Se muestran los dibujos que nos permiten visualizar la integración de todos los elementos (Figura 7 y 8).

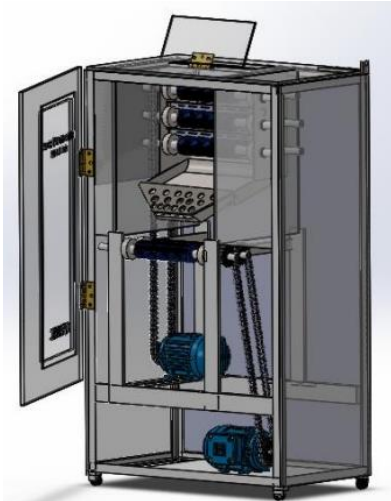


Figura 7. Vista frontal (Diseño realizado por los alumnos).

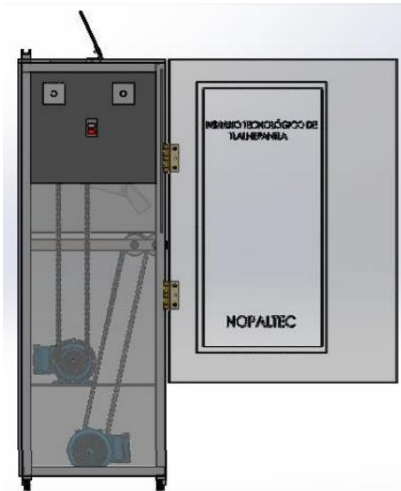


Figura 8. Vista lateral (Diseño realizado por los alumnos).

7. Prototipo

Se muestran las fotografías que nos permiten apreciar el ensamble de los componentes que conforman la máquina (Figura 9).



Figura 9. Vista frontal y lateral del prototipo (Fotografía tomada por los alumnos).

8. Pruebas de funcionamiento

Las pruebas realizadas a la máquina desespindora y cortadora de nopales permiten verificar las características del producto planteadas.

8.1. Prueba de tensión de alimentación.

Se conecta el voltímetro entre las terminales del motor y se energiza este a la red de 120 volts de C.A.

La lectura del voltímetro tomada fue de 127.8 V, lo cual quiere decir que está dentro del rango de lo establecido en la norma para molinos mezcladores NMX-O-122-1976 que indica que el motor debe operar a una tensión monofásica de 120 V. de C.A. con una tolerancia de ± 10 [5] (Figura 10).



Figura 10. Prueba de tensión de alimentación (Fotografía tomada por los alumnos).

8.2. Prueba de consumo de energía.

Se energiza el motor a la red de alimentación de 120 volts de C.A., estando en funcionamiento la máquina a plena carga, se mide la corriente en cualquier fase.

El resultado fue un consumo de corriente de 0.40 A, quedando dentro del rango establecido en la norma para molinos mezcladores.



8.3. Prueba de limpieza.

Se realizó la limpieza utilizando líquidos satinados para la desinfección de todos los elementos que están en contacto directo con los nopales y así mismo prolongar la vida útil de la máquina, asegurando una calidad óptima de los alimentos frente a influencias químicas garantizando la higiene del nopal al consumirlo (Figura 10).



Figura 11. Prueba de limpieza. (Fotografía tomada por los alumnos).

8.4. Prueba de capacidad de producción.

Se enciende la máquina y se procede a ingresar los nopales por la parte superior de la máquina donde se ubican los rodillos desespinares para que empiece la limpieza de los nopales, al terminar de desespinar cae por una resbaladilla para que pase por las cuchillas y corte en trozos, con esto comprobamos que tiene un aumento de producción de 40 nopales por minuto (Figura 12).



Figura 12. Prueba de capacidad de producción. (Fotografía tomada por los alumnos).

9. Dibujos de detalle

A continuación, se muestran los dibujos de los componentes de la Desespinaadora de nopales (Figura 13, 14 ,15).

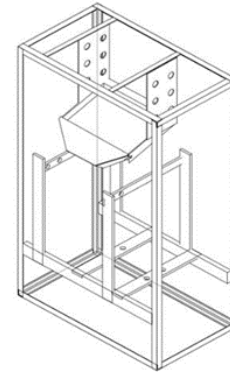


Figura 13. Estructura de la máquina (Diseño realizado por los alumnos).



Figura 14. Rodillos desespinares (Diseño realizado por los alumnos).

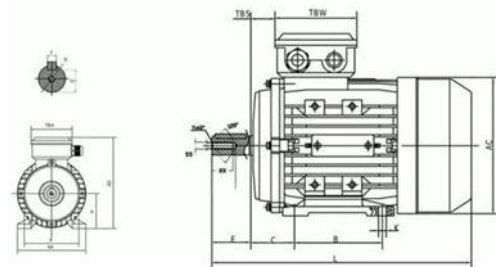


Figura 15. Motor eléctrico monofásico (Diseño realizado por los alumnos).

10. Dibujos de conjunto

Se muestra un dibujo que muestra todos los componentes de la desespinaadora y cortadora de nopales (Figura 16) (Tabla 1).

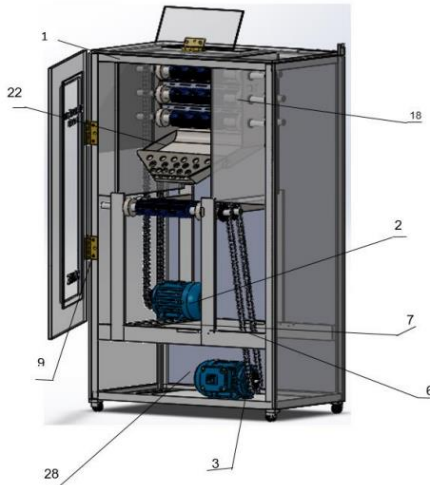


Figura 16. Conjunto de componentes (Diseño realizado por los alumnos).

Tabla 1. Componentes de la máquina desespinaadora y cortadora de nopales.

Ø	CANT	DENOMINACION	MATERIAL	OBSERVACIONES
1	1	ESTRUCTURA	ANGULO	TODAS LAS PARTES DE LA ESTRUCTURA SE SOLDARON
2	2	MOTOR	SOLERA 1X1	
18	18	PORTABALEROS	COLD ROLLED	
8	4	TONILLO TORNILLO CABEZA HEZAGONAL DE 5/16	ACERO	SE USAN PARA SOPORTAR EL MOTOR
7	4	TUERCA HEXAGONAL DE 5/16		SUJETA MOTOR
9		REMACHES		SE USAN PARA SOPORTAR LA LAMINA
13	1	"ARRANCADOR MANUAL"	PLASTICO	
15	4	"RUEDA"	LAMINA TROQUELADA	
14	1	"VARIADOR DE FRECUENCIA"		
22	1	RESBALADILLA	ACERO INOX	
3	1	EJE PARA CATARINA	ACERO	CONSTITUYE AL MECANISMO DE LA MAQUINA

DISCUSIÓN

Se pretende ofrecer a los comerciantes y campesinos de México una máquina eficiente que acelere el proceso de la limpieza y corte del nopal mediante tecnología nacional que permita un aumento de la producción y reducción de tiempo, que sea económica, segura, eficiente, innovadora basando su diseño hacia todo tipo de empresas o comercios con la finalidad de ser productivos y cumplir con la demanda del cliente, reduciendo costos de mantenimiento con una limpieza uniforme permitiendo una mayor durabilidad del equipo, basándose en normatividad y utilizando materiales normalizados tal como es el acero inoxidable grado alimenticio T-304.

CONCLUSIONES

Con base a los resultados obtenidos se llega a la conclusión que la máquina desespinaadora y cortadora de nopales es un producto viable y de calidad, que ayudará a los campesinos y comerciantes a incrementar su producción con un mínimo de inversión ya que el costo de fabricación estándar obtenido nos garantiza que el precio de venta de nuestra máquina estará muy por debajo de las máquinas que se comercializan en el mercado nacional. La máquina es un producto innovador y de bajo costo, que busca apoyar a todo tipo de empresas dedicadas a la venta y distribución de nopales, debido a que garantiza una limpieza y corte de calidad y uniforme. Ya que su capacidad para desespinar y cortar va desde 1 hasta 40 nopales por minuto, asegurando una mayor producción por arriba de lo que se obtiene en forma manual, además es de fácil operación ya que cuenta con un interruptor ON/OFF, un variador de frecuencia y un botón de paro de emergencia por si se llegará a atorar o atascar el nopal esto con el fin de no afectar el funcionamiento de los rodillos y cortadores, garantizando que cumpla con las normas de seguridad y calidad para el operador. La máquina es de tamaño compacto para espacios de trabajo pequeño y su mantenimiento será mínimo, debido a que solo se enfoca a lubricar las piezas móviles y reemplazar solo aquellas que cumplan con su vida finita. Además, es de fácil transportación ya que cuenta rodajas fijas y móviles para poderla desplazar con mínimo esfuerzo de un lugar a otro.

Cabe mencionar que la máquina está en proceso de registro de marca (NOPALTEC), y en búsqueda de innovación tecnológica para que se pueda otorgar el registro como modelo de utilidad o patente según sea el caso ante el IMPI para su protección intelectual [6].

De igual manera se está trabajando en el plan de negocios para que pueda crecer dicho proyecto y pueda llegar a las empresas, centrales de abasto o aquellas personas que satisfaga y cumpla con sus necesidades y estén dispuestas en invertir en la máquina. Por todo lo anterior podemos asegurar que la desespinaadora y cortadora de nopales es un desarrollo tecnológico que busca atender las necesidades de los campesinos y comerciantes a nivel local, estatal y nacional.

REFERENCIAS

- [1] Prácticas de higiene para el proceso de alimentos, bebidas o suplementos alimenticios, Norma Oficial Mexicana NOM-251-SSA1-2009.
- [2] "Nopales: cómo limpiarlos y cocinarlos - Pati Jinich en español". Pati Jinich en español. <https://patijinich.com/es/nopales-como-limpiarlos-y-cocinarlos/>.
- [3] "NOPALLI". biouniverso agrícola - Inicio. <http://biouniversoagricola.com.mx/nopalli.html>
- [4] R. G. Budynas y J. K. Nisbett, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. México: Mc Graw Hill.



[5] “Molinos Mezcladores-Trituradores Industriales”, Norma Mexicana NMX-O-122-1976.

[6] "Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial | Gobierno | gov.mx". El portal del gobierno. | gov.mx. <https://www.gob.mx/impi>

INFORMACIÓN ACADEMICA

Ing. Gabriel Sauza Salinas: Catedrático y jefe de laboratorio de manufactura básica en el TecNM – Instituto Tecnológico de Tlalnepantla.

Jesús Eduardo Barocio Rodríguez: Estudiante de noveno semestre de la carrera de Ingeniería Mecánica en el TecNM – Instituto Tecnológico de Tlalnepantla.

Marco Antonio Peña Aguilar: Estudiante de noveno semestre de la carrera de Ingeniería Mecánica en el TecNM – Instituto Tecnológico de Tlalnepantla.

Brandon Nicolas Justo: Estudiante de noveno semestre de la carrera de Ingeniería Mecánica en el TecNM – Instituto Tecnológico de Tlalnepantla.

Erick Martínez Álvarez: Estudiante de noveno semestre de la carrera de Ingeniería Mecánica en el TecNM – Instituto Tecnológico de Tlalnepantla.





Rediseño de máquina para fabricación de fibras de PET

González Navarrete América Celeste, Urriolagoitia Sosa Guillermo, Romero Ángeles Beatriz, López Carrillo Juan Eduardo

RESUMEN

En la actualidad se ha empleado PET para envasar toda clase de bebidas y productos alimenticios, pero su uso ha generado serios problemas de contaminación a nivel mundial, pues los envases de PET no pueden integrarse en un ciclo infinito de reciclaje, se pueden reciclar cierto número de veces para volver a usarse como envases (por ejemplo: botellas). Sin embargo, después se vuelven desechables, y quedan inservibles para la industria alimenticia. Siguiendo una ruta alterna en el reciclaje de botellas de PET se puede obtener fibras útiles para crear diversos productos, como: fundas de almohadas, textiles, cubrebocas, etc. Por lo cual, se llevó a cabo el rediseño de una máquina para la conformación de fibras de PET de buena calidad, para que puedan ser utilizadas en la elaboración de los productos mencionados. Esta máquina puede ser empleada en una empresa creada específicamente para producción de fibra de PET, Sin embargo, no se limita a este rubro, pues bien puede ser adoptada por empresas que se dedican al proceso integro de reciclaje como una opción para reducir los pasos para la obtención de un producto final.

ABSTRACT

Currently, PET has been used to package all kinds of beverages and food products, but its use has generated serious pollution problems worldwide. PET containers cannot be integrated into an infinite recycling cycle. It can be recycled a certain number of times to be reused as containers (for example: bottles), but after that, they become disposable and unsuitable for the food industry. By following an alternative route in the recycling of PET bottles, it is possible to obtain useful fibers to create various products such as pillowcases, textiles, face masks, etc. Therefore, a redesign of a machine for the formation of high-quality PET fibers was carried out, enabling their use in the production of such products. This machine can be used in a company specifically created for PET fiber production. However, it is not limited to this sector, as it can also be adopted by companies engaged in the entire recycling process as an option to reduce the steps involved in obtaining a final product.

Palabras claves: Rediseño, Fibra de PET, Máquina, Producción.

* Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, "Zacatenco". Av. Othón de Mendizábal S/N, Edificio 5, 2do. Piso, Col. La Escalera. Alcaldía Gustavo A. Madero, C.P. 07320, Ciudad De México, México.

agonzalezn1400@alumno.ipn.mx, romerobeatriz97@hotmail.com, guiurri@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

Se llevó a cabo el rediseño de una máquina para elaboración de fibras de PET, la cual surgió de la necesidad de reducir la contaminación ambiental gracias al consumo excesivo de botellas de PET.

En este trabajo se habla de los antecedentes históricos de la elaboración de PET y se explican algunos métodos de fabricación de este material, se da mención a los problemas de la contaminación producida por el consumo excesivo de envases de PET.

Enseguida se explica el funcionamiento del sistema tomando en cuenta las herramientas de caja negra y caja transparente, además se identifican las características principales que tendrá el diseño. Se hace la selección de la mejor alternativa, y con ayuda de la matriz morfológica se escogen los materiales adecuados para cada elemento de la máquina. Cabe aclarar que en el diseño de la máquina hay dos componentes importantes: el eje y el rodete, pero no se explicarán en el desarrollo del presente trabajo.

JUSTIFICACIÓN

En México, por cada habitante, se consumen 200 botellas de PET anuales, es decir, que en México se consumen 300 millones de toneladas de este material al año (Santillán, 2018), de los cuales solamente 9 millones de toneladas son recicladas, y un alto porcentaje termina en ríos y mares. Esto se duplicará durante los próximos 20 años según Andrés Ávila (Xantomila, 2019), director ejecutivo de Política y Legislación Ambiental, causando graves problemas ambientales. El reciclaje es una estrategia que buscan disminuir la cantidad y los impactos que generan las botellas de PET en el ambiente. Usualmente las botellas de plástico recicladas se utilizan para generar nuevamente envases de grado alimenticio, pasando por un proceso térmico que va degradando el material, haciendo que solamente se pueda reciclar unas 4 ó 5 veces para grado alimenticio. Por lo tanto, es importante invertir en opciones para su reaprovechamiento. La fibra de PET que producirá la máquina de nuestro proyecto ayudará en el proceso de reciclado, además podrá ser utilizada en su mayoría para la creación de textiles.

OBJETIVO

Rediseñar una máquina para producción de fibras de PET que permita extender la vida útil del material y contribuya en la solución de problemas de contaminación ambiental.





ANTECEDENTES

El polietilentereftalato es un material termoplástico formado por glicol etilénico y ácido tereftálico, es un material ligero y su costo es bajo, uno de sus usos principales es la fabricación de botellas para almacenamiento de todo tipo de bebidas (Gutiérrez, 2021; Villafañe, 2018).

En 1941 los científicos J. R. Whinfield y J. T. Dickson, quienes al mezclar glicol de etileno con ácido tereftalato desarrollaron el polietileno tereftalato (PET) y lo patentaron como un polímero utilizado para la elaboración de fibra (Díaz, 2017). En 1955 comenzó su producción en forma de fibra de poliéster. En 1979, comenzó a ser utilizado en la fabricación de envases transparentes de grado alimenticio (Gary, 2019). Desde su descubrimiento se convirtió en un envase ideal para la distribución de todo tipo de productos, materiales y alimentos, pero es un material difícil de degradar y gracias a su consumo masivo se ha convertido en un gran problema de contaminación ambiental (Martínez, 2007).

MARCO TEORICO

RECICLAJE

El reciclaje es una actividad que consiste en transformar los residuos con distintos procesos, así reingresarlos al ciclo económico y aprovechándolos en nuevos productos siempre y cuando no se ponga en riesgo el ecosistema. En México mediante centros de acopio gran parte de las botellas son reutilizadas, pero la infraestructura para este proceso es limitada (Gary, 2018).

PROCESO DE FABRICACIÓN DE BOTELLAS DE PET

El proceso de fabricación de envases de PET se puede realizar por tres métodos principalmente: extrusión-soplado, inyección-soplado y estirado-soplado (Durán, 2010; Villafañe, 2018).

Método de moldeo por extrusión-soplado.

En el método extrusión soplado la resina se vierte en la tolva superior, es extruida por un husillo y almacenado en un cabezal. Posteriormente un tubo caliente con plástico baja del cabezal del extrusor, es atrapado por un molde que contiene agua para su enfriamiento, cuando el molde está cerrado se inyecta aire por una boquilla del contenedor, gracias a la presión del aire el plástico adquiere la forma del molde, la pieza es enfriada dentro del molde adquiriendo rigidez, por último, es retirada del molde (Durán, 2010; Villafañe, 2018).

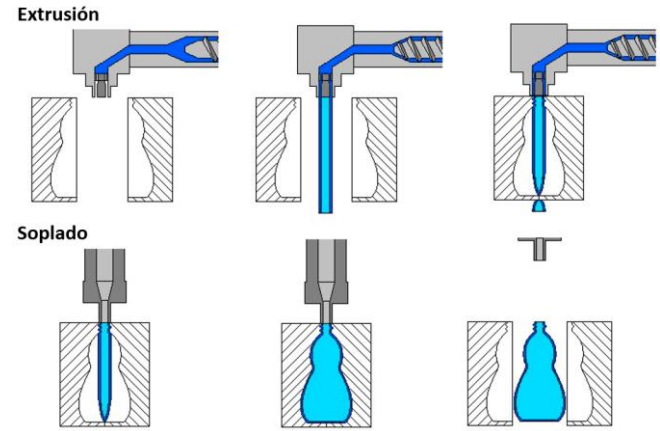


Figura 1.- Etapas del proceso: método de moldeo por extrusión-soplado. Fuente: Mariano. (2012).

Método de inyección-soplado

Primero se vierte resina en una tolva donde es fundida, posteriormente se inyecta en un molde, se obtienen preformas que son calentadas hasta que se reblandecen, mediante aire comprimido el material es soplado hasta que tome la forma característica de la botella (Durán, 2010; Villafañe, 2018).

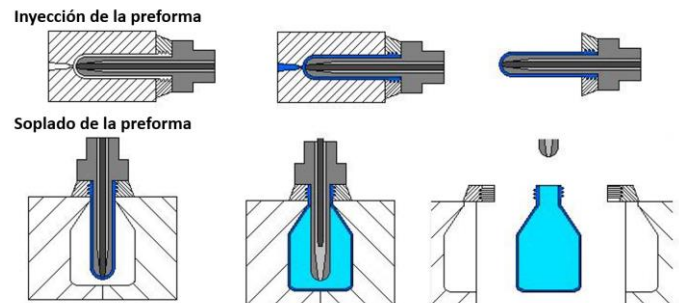


Figura 2.- Etapas del proceso: Método de inyección-soplado. Fuente: Mariano. (2012).

Método de inyección soplado y estirado

El primer paso del proceso es la creación y acondicionamiento de preformas mediante inyección, posteriormente las preformas son colocadas en moldes y pasan por el proceso de soplado y estirado de forma secuencial, estando en el molde son enfriadas y por último retiradas de los moldes (Durán, 2010; Villafañe, 2018).

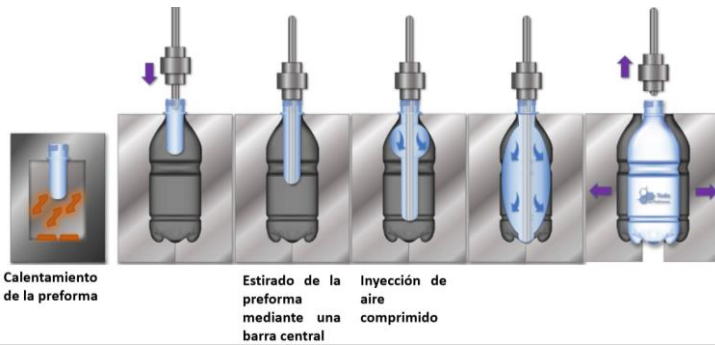


Figura 3.- Etapas del proceso: método de inyección-soplado-estirado. Fuente: Todo en plásticos. (2021).

PET como los motores que se ocupan de accionar el mecanismo que transporta el PET y de impulsar el rodete que se encarga de la conformación de la fibra.

DISEÑO DEL SISTEMA

Diseño conceptual

El diseño conceptual en la primera fase del desarrollo de un proyecto, en esta etapa se dan alternativas y posibles soluciones a los problemas. Es importante porque nos permite definir a grandes rasgos el camino a seguir y el resto de las etapas siguientes del diseño. Una forma de representar dichas alternativas es mediante el uso de bocetos.

Los dibujos se han efectuado en dos dimensiones y meramente sirven para ilustrar los elementos necesarios para la construcción de la máquina a partir de lo que se ha apreciado en modelos similares ya existentes.

El primer boceto muestra los componentes principales de la máquina.

Componentes:

1. Rodete
2. Eje del rodete
3. Poleas
4. Banda de transmisión
5. Motor
6. tubo de depósito de PET
7. Resistencia de abrazadera
8. Tolva
9. Tornillo sinfín
10. Manivela de tornillo sinfín
11. Caja de control
12. Charola para depósito de fibras
13. Estructura de la máquina

METODOLOGIA

HERRAMIENTAS PARA LA SELECCIÓN DE COMPONENTES DE LA MÁQUINA

Durante el diseño de la máquina se hizo una búsqueda de máquinas para producción de fibras de PET, mediante el uso de la herramienta caja negra y caja transparente conocimos a grandes rasgos el comportamiento y componentes de dichos dispositivos.



Figura 4.-Caja negra

El procedimiento que se sigue al interior de estas máquinas puede describirse como es mostrado en la figura 5, en la caja transparente.

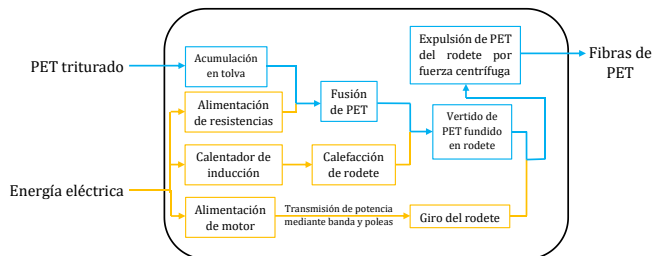


Figura 5.-Caja transparente

Algunos criterios que se consideraron importantes en esta máquina son: diseño de poca complejidad, ya sea para su construcción o ensamble, elementos mecánicos estandarizados y de fácil obtención, control automático para temperatura y proceso, esto se efectuará mediante el uso de algún controlador o microcontrolador para que la máquina sepa de manera automática en qué momento activar tanto las resistencias eléctricas que se ocuparán de fundir el

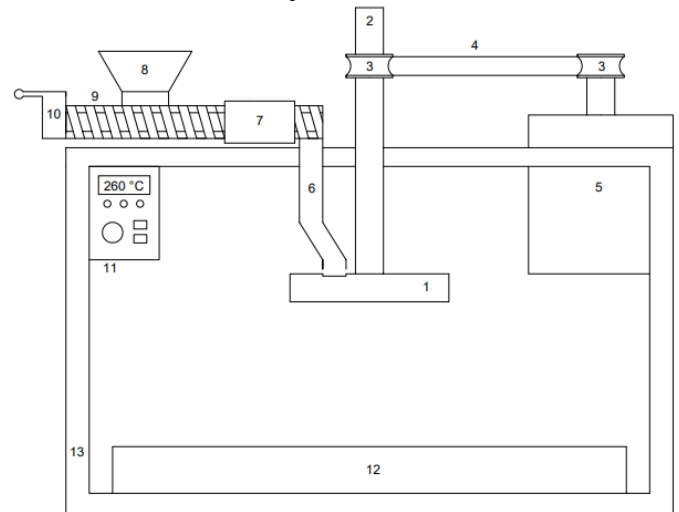


Figura 6.-Estructura y componentes principales de la máquina



El eje irá montado sobre una estructura de acero de perfil w. los componentes del ensamble son los siguientes:

1. Eje
2. Rodamientos sobre los que se monta el eje.
3. Poleas del eje y del motor
4. Motor
5. Soporte

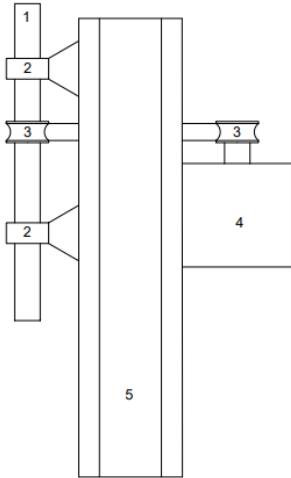


Figura 7. Ensamble de motor y eje.

En la figura 8. se puede apreciar más a detalle el rodete. Con la finalidad de evitar un enfriamiento brusco del PET fundido al inicio de la operación, resulta necesario incluir una forma de calentamiento del rodete.

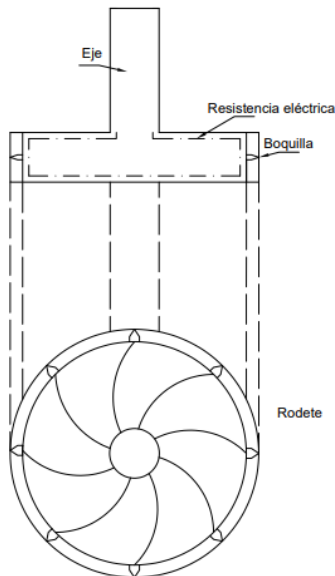


Figura 8.- Rodete

En la siguiente figura se muestra la tolva en la que se introduce el PET triturado, así como el tornillo sin fin y los ductos por los que circulará el PET en estado líquido.

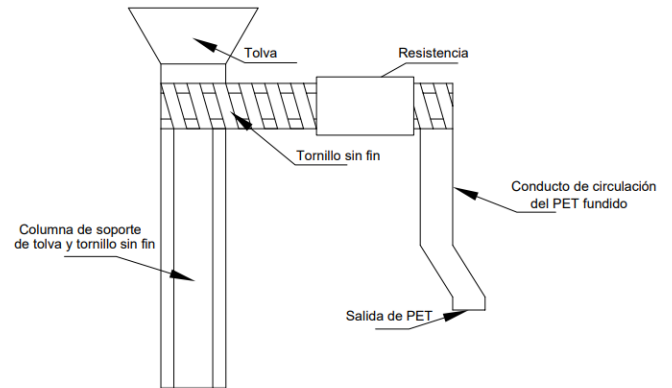


Figura 9.- Tolva y tornillo sin fin

Diseño preliminar

Con la ayuda de la herramienta de calidad matriz morfológica se compararon las opciones de componentes que nos permitirían realizar determinadas funciones.

Tabla 1.- Matriz morfológica

Función	Opciones				
	a	b	C	d	e
Transmisión de potencia	Cadena y catarinas	Banda y poleas	Engranajes	Acople directo con eje del motor	Cables
Fusión del PET	Mediante quemador de gas	Con resistencias eléctricas	Con extrusor y resistencias	-----	-----
Calentamiento del rodete	Con resistencias eléctricas	Fricción	Con quemador de gas	Mediante inducción	-----
Transporte de material	Tornillo sin fin	Conductos	Tornillo sin fin y tuberías	-----	-----
Operación	Automática	Manual	-----	-----	-----
Depósito de fibras	Rodete	Caja	Caja con rodete	Charola	Tubo con eje
Soporte o estructura	PTR	Aluminio	Perfiles W de acero	-----	-----

ALTERNATIVA SELECCIONADA

Rodete

Debido a los criterios considerados se seleccionó una transmisión por banda y poleas, por lo que del catálogo de componentes de ingeniería de la marca DODGE se revisaron las relaciones de velocidad disponibles a partir de las dimensiones de las poleas considerando una banda tipo 3VX. En relaciones de velocidad de 7.52 en adelante se emplean poleas de diámetros como mínimo de 25 in (635 mm), se consideró adecuado el uso de una relación de velocidad de alrededor de 5, con ella es posible emplear poleas de



mínimo 14 in (355.6mm) de diámetro. El motor para emplear cuenta con una velocidad de 1760 rpm, y se propone un diámetro de entrada al rodete de 60mm y uno de salida de 200mm. EL cálculo de la potencia hará partiendo de los triángulos de velocidad.

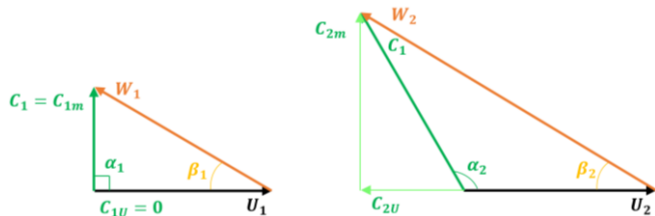


Figura 10.- Triangulo de velocidades del rodete

U1=velocidad absoluta del alabe a la entrada o velocidad periférica a la entrada.
 C1=velocidad absoluta del fluido a la entrada.
 w1=velocidad relativa a la entrada (del fluido con respecto al alabe).
 w2=velocidad relativa a la salida del rodete.
 C1u=componete periférica de la velocidad absoluta del fluido a la entrada.
 C2=velocidad absoluta del fluido a la salida.
 α =ángulo que forman las velocidades c y u.
 β =ángulo que forma w con u.

Fuente: Mataix, C. (1986).

Selección de transmisión por banda

Para la selección del tipo de banda se inicia por considerar la velocidad de rotación y la potencia a la que trabaja. Al tratarse de un rotor similar al de una bomba centrífuga y considerando una operación no mayor a 16 horas se selecciona un factor de servicio de $k_s=1.1$.

$$H_d = k_s H_{nom} = 1.1(0.25 \text{ HP}) = 0.275 \text{ HP} \quad (1)$$

Con estos datos se ubicó en la figura x para una velocidad de rotación de 1760 rpm y 0.275 HP resulta optimo el uso de una banda 3V, 3VX.

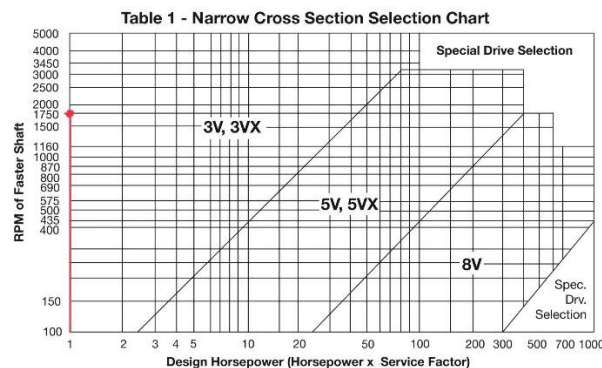


Figura 11.- Tabla para la selección de la banda. Fuente: DODGE. (2020)

Elementos de transmisión

La selección de los componentes para la transmisión de potencia se llevó a cabo con el catálogo de la empresa DODGE (Dodge PT components engineering catalog, 2022). Por otro lado, la selección del motor se efectuó con el catálogo de la empresa SIEMENS (Catálogo de Motores 2013, 2021) partiendo del cálculo de la potencia de accionamiento para el rodete.

Tornillo sin fin

Se eligió el Transportador de Tornillo Sin Fin ya que es un sistema de manipulación y transporte de material extremadamente versátil, al ser un equipo de transporte de material, dispositivo dosificador y mezclador. Las ventajas que encontramos en el uso del Transportador de Tornillo Sin Fin son: fabricación sencilla, diseño compacto de fácil instalación, es un sistema de bajo costo. hace hermético al sistema, evita generación de polvos y posibles exhalaciones molestas.

Para determinar el paso del tornillo procedemos a realizar los siguientes cálculos:

Área de relleno del canalón (S): es el área que ocupa el material que se mueve por el transportador, se puede obtener mediante la expresión:

$$S = \lambda * A \quad (2)$$

Donde:

S: área de relleno del transportador en m^2 .

λ : coeficiente de relleno de la sección.

A: área efectiva donde circula el material.

$$A = \frac{\pi}{4} (D_T^2 - d_e^2) \quad (3)$$

DT: Diámetro del tornillo.

de: Diámetro del eje.

$$v = \frac{p * n}{60 \frac{s}{min}} \quad (4)$$

p: paso del tornillo o paso de hélice.

n: velocidad de giro del tornillo sin fin.

v: velocidad de desplazamiento del transportador (m/s).

$$Q = S * v * i \quad (5)$$

i: coeficiente de disminución del flujo del flujo de material debido a la inclinación del transportador.

Q: Caudal de material transportado.

$$Q = S * v * i = S * \frac{p * n}{60 \frac{min}{s}} * i \rightarrow p = \frac{Q * (60 \frac{s}{min})}{S * n * i} = \frac{Q * (60 \frac{s}{min})}{\lambda * \frac{\pi}{4} (D_T^2 - d_e^2) * n * i} \quad (6)$$

De las tablas 2 y 3: $\lambda=0.4$, $i=0.8$. Se propone una velocidad de rotación del eje del tornillo sin fin de 25rpm, el diámetro del tornillo de 180mm y el diámetro del eje de 22mm, el caudal necesario para la operación de la máquina es de $137.6 \times 10^{-6} m^3/s$





$$p = \frac{(137.6 \times 10^{-6} \frac{m^3}{s}) (60 \frac{s}{min})}{(0.4) \frac{\pi}{4} [(180 \times 10^{-3} m)^2 - (22 \times 10^{-3} m)^2] (25 \frac{rev}{min}) (0.8)} = 41.17 \times 10^{-3} \frac{m}{rev} \quad (7)$$

Fuente: Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2019)

Tabla 2. Coeficiente de relleno según el tipo de carga.

Tipo de carga	Coeficiente de relleno, λ
Pesada y abrasiva	0.125
Pesada y poco abrasiva	0.25
Ligera y poco abrasiva	0.32
Ligera y no abrasiva	0.4

Fuente: Extraído de (POLO, 2017).

Tabla 1. Coeficiente de disminución de flujo.

Inclinación del canalón	0°	5°	10°	15°	20°
I	1	0.9	0.8	0.7	0.6

Fuente: Extraído de (POLO, 2017).

Motor

Se ha seleccionado un motor monofásico con 4 polos de arranque por capacitor, cuya designación es **1RF30524YC31**. SIEMENS (2013)

Rodamientos

Se seleccionaron los rodamientos con ayuda de la aplicación móvil de SKF Bearing Assist, a partir de requisitos de carga y las dimensiones propuestas, la ventaja del uso de esta herramienta es que facilita la selección de componentes altamente comerciales y de fácil obtención, además de que permite estimar las horas de servicio del rodamiento únicamente al introducir las magnitudes de cargase seleccionaron los siguientes rodamientos a partir del tipo de cargas que soportarán:

- 7204 BEP – Es un rodamiento de contacto angular, con las cargas que se ejercen en él su vida nominal es superior a 200,000 horas, lo que asegura una buena duración.
- 6204-2RSL – Este rodamiento es para carga radial, al igual que el otro rodamiento, este tiene una vida mayor a 200,000 horas.

SKF Bearing Assist.

Tolva

La tolva es el componente donde se deposita el material (hojuelas de PET triturado y lavado) que alimentará el tornillo sin fin, el cual posteriormente se encargará de alimentar el rodete.

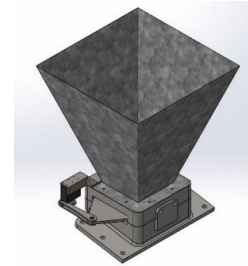


Figura 12.- Tolva

Calentador de inducción

Se optó por la opción de un calentador de inducción para poner en temperatura adecuada al rodete al inicio de la operación de la máquina, por este motivo resulta necesario que el rodete esté hecho de un material ferromagnético, sin embargo, esto haría más complicada su manufactura y el peso se incrementaría. Por lo cual, se utilizó un disco de acero que facilitará la calefacción por medio del calentador de inducción.

En el mercado se vende el siguiente calentador:



Figura 13.- Módulo Calentador Inducción Magnética Bobina Mini Arduino. Fuente: Consultado en Mercado libre.

Descripción:

- Voltaje de entrada: 5V – 12V.
- Dimensiones de módulo: 5.5 x 4 x 2 cm (largo x ancho x alto).
- Peso del producto: 119g.
- Tamaño de la bobina: Longitud 7.5 cm, ancho 2.8 cm.
- Módulo de la fuente de alimentación de calefacción ZVS que incluye bobina de calefacción.
- Voltaje de entrada DC5V-12V (no garantizamos que el módulo funcione cuando el voltaje sea superior a 12V o inferior a 5V).
- Potencia máxima 120W (cuando se calienta la corriente de Foucault de 12V).

El cual nos ofrece una potencia máxima de 120W, que servirá para calentar la placa, solo hay que modificar su geometría para adaptarla a la placa de acero y hacer pruebas de funcionamiento.

FUNCIONAMIENTO Y CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA COMPLETA

Funcionamiento

El funcionamiento de la máquina inicia con el depósito de hojuelas de botellas de PET previamente cortadas y lavadas, las hojuelas se transportan en un tornillo sin fin dentro de un tubo, mientras las



hojuelas se transportan, resistencias calientan el tubo alrededor del tornillo sin fin y derriten el PET, posteriormente bajan al rodete que se encuentra ensamblado en el eje.

El rodete consiste en una pieza principal sobre la que se montan boquillas por las que se expulsará el PET en forma de filamento y un disco metálico cuya función es sellar los canales por los que circula el PET.

Construcción de la máquina

Finalmente, en la figura 14 se muestra una imagen renderizada del ensamble de la máquina completa, con todos los componentes mecánicos necesarios para su operación, los elementos de control, sensores, y calefactores no fueron modelados debido a que no proporcionan un aporte significativo al entendimiento del aspecto final.

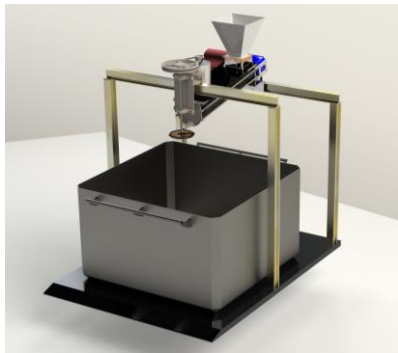


Figura 14.- Imagen renderizada de la máquina completa.

CONCLUSIONES

De acuerdo con el rediseño realizado, se observa que se eficientiza el proceso de elaboración de fibras de PET, las cuales pueden ser útiles en diferentes procesos de conformado, ya que esta máquina se compone de sensores de temperatura y sistemas autónomos para controlar su funcionamiento el cual es fiable. Gracias a esto último la máquina es de fácil manejo para el operador.

Durante el desarrollo del presente trabajo se puso en práctica el proceso de diseño, hubo retroalimentación en cada una de las etapas, lo que permitió tener mejoras y resultados apegados a los requerimientos de diseño.

Es posible realizar una máquina para fabricación de PET, eficiente con un diseño sencillo, fácil de trabajar por el operador y que además será una buena herramienta para reducir la contaminación.

Se recomienda hacer diseño y análisis del eje y del rodete de la máquina para posteriores trabajos.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2019). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. México: McGraw-Hill.
- Contreras, M. J., López, C. E., Rosario, C. J., Tovar, F. R. (2007). Manual de proceso para fabricación de una botella de plástico.

- Díaz, F. G., Martínez, A. J., Lobato, Z. F., (2017). Creación de una empresa que elabore tela a base de tereftalato de polietileno (PET) en el municipio de Santiago Tianguistenco, Estado de México.
- DODGE. (2020). Dodge PT components engineering catálogo.
- Durán, D. J., (2010). Nuevos desarrollos en la modificación y procesamiento del PET con aplicación en envase. Centro De Investigación En Química Aplicada.
- Floyd, T. L. (2007). Principios de circuitos eléctricos (octava ed.). México: PEARSON EDUCACIÓN.
- García, E. V., & Hernández, M. J. (2003). Introducción al proyecto de ingeniería. Buenos Aires.
- Gary B. Z. J., (2019). "Reciclado de Plástico PET"
- Gutiérrez, L. A., Tamayo, G. P., Barajas A. S., (2021). Reciclaje de botellas de pet para manufactura aditiva. Revista incaing, ISSN 2448 913, pg 88-96
- Juvinal, R. C., & Marshek, K. M. (2013). Diseño de elementos de máquinas. México: Limusa Wiley.
- Mariano. (2012). Extrusión-soplado. Tecnología de los Plásticos. <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/03/extrusion-soplado.html>
- Mariano. (2012). Inyección - soplado. Tecnología de los Plásticos. <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/03/inyeccion-soplado.html>
- Martínez P. A. (2007). Técnicas de caracterización fisicoquímicas en el reciclado del polietilentereftalato.
- Mataix, C. (1986). Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas. Madrid: Ediciones del Castillo, S.A.
- Módulo Calentador Inducción Magnética Bobina Mini Arduino. Mercado libre.
- Mott, R. (2006). Diseño de elementos de máquinas. México: PEARSON EDUCACIÓN.
- Norton, R. L. (2009). DISEÑO DE MAQUINARIA. Síntesis y análisis de máquinas y mecanismos (quinta ed.). (J. E. Murrieta, Trad.) México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA.
- Norton, R. L. (2011). Diseño de Maquinas Un enfoque integrado. México: Pearson Educación.
- POLO, U. R. (2017). Diseño del Conjunto de Transportadores Helicoidales para Evacuar 1.8 T/H de Ceniza de la Caldera de la Empresa Agrolmos S.A.C. Trujillo, Perú: Universidad César Vallejo. Recuperado el octubre de 2021
- Sánchez Mora, J. J. (07 de noviembre de 2003). Comportamiento térmico y mecánico del (poli-etilén tereftalato) (PET) modificado con resinas poliméricas basadas en bisfenol-A. Catalunya: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Todo en polímeros. (2021). Procesos de soplado. <https://todoenpolimeros.com/procesos-de-soplado/>



- Santillán, M. (2018). Una vida de plástico. Ciencia UNAM, DGDC. [Una vida de plástico - Ciencia UNAM](#)
- SIEMENS (2013). Catálogo de Motores.
- SKF Bearing Assist.
- Villafañe, C. I., (2018). Análisis mecánico del material polimérico PET proveniente de botellas de plástico. Universidad de Valladolid.
- Xantomila, G. (2019). Consumo de botellas de plástico marca récord en México: Semarnat. El sol de México.

Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional en México.

GLOSARIO

DC5V-12V: motor de corriente continua.

DODGE (Dodge Brothers Company): marca de automóviles

HP: Caballos de potencia.

PET: Tereftalato de polietileno. Tipo de plástico muy utilizado en fabricación de envases.

RPM: Revoluciones por minuto.

SIEMENS: Empresa de tecnología enfocada en la industria, las infraestructuras, el transporte y la salud.

SKF (Svenska Kullagerfabriken): fábrica de rodamientos de bola sueca.

W: Potencia.

INFORMACIÓN ACADÉMICA

América Celeste González Navarrete: Alumno de Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica en la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Dr. Guillermo Urriolagoitia Sosa: Ingeniero Mecánico egresado de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional, Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica en Diseño Mecánico en la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional en México, Maestría en Ciencias de la Universidad de Oxford del Reino Unido con especialidad en fatiga por frotamiento y Doctorado en Filosofía de la Universidad de Oxford Brookes del Reino Unido con especialidad en Esfuerzos Residuales. Actualmente Profesor Investigador Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional en México.

Dra. Beatriz Romero Ángeles: Ingeniero Mecánico egresada de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional, Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica no lineal en la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional en México y Doctorado en Ciencias en Ingeniería Mecánica en Arresto de Grietas en la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional en México. Actualmente Profesor Investigador Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la





Diseño de un sistema alternativo de suministro de energía para un vehículo híbrido

Juárez Hernández Miriam Laura, Reyes Manzano Cesar Fabian, González Villanueva Daniel

RESUMEN

El 97% de los vehículos fabricados siguen utilizando algún combustible derivado del petróleo, lo que representa un 60% de la contaminación total por partículas suspendidas gruesas. Derivado de tal problemática surgen los vehículos híbridos con el único objetivo de reducir la emisión de contaminantes. Los vehículos tradicionales con motores de combustión interna emiten gases contaminantes que contribuyen al cambio climático y a la mala calidad del aire en las ciudades, lo que tiene un impacto negativo en la salud de las personas. Actualmente, en el mercado de los vehículos híbridos; están los vehículos solares con motor de gasolina, vehículos eléctricos con motor de gasolina o diésel, vehículos eléctricos con baterías recargables con uno o más motores, sin embargo, no existen vehículos híbridos con 3 sistemas diferentes e independientes, de suministro de energía. La incorporación de los vehículos híbridos en la sociedad tiene un impacto positivo, desde el cuidado del medio ambiente repercutiendo en la salud de las personas, hasta la economía y la creación de nueva tecnología. Los vehículos híbridos son una industria en constante evolución, lo que significa que están mejorando constantemente en términos de eficiencia y rendimiento.

Por todo lo mencionado se propone el diseño de un vehículo híbrido que combina tres diferentes tecnologías para lograr un mayor rendimiento y eficiencia energética, además de contribuir el cuidado del medio ambiente.

Para la fabricación y armado del prototipo de este vehículo se realizaron varias pruebas para poder determinar cuáles son los materiales más recomendables para la fabricación del vehículo, así como realizar experimentos que permitieron obtener los resultados de eficiencia de cada sistema.

ABSTRACT

97% of the vehicles manufactured continue to use some fuel derived from petroleum, which represents 60% of the total contamination by coarse suspended particles. Derived from such a problem, hybrid vehicles arise with the sole objective of reducing the emission of pollutants. Traditional vehicles with internal combustion engines emit polluting gases that contribute to climate

change and poor air quality in cities, which has a negative impact on people's health. Currently, in the hybrid vehicle market; There are solar powered vehicles with a gasoline engine, electric vehicles with a gasoline or diesel engine, electric vehicles with rechargeable batteries with one or more motors, however, there are no hybrid vehicles with 3 different and independent power supply systems. The incorporation of hybrid vehicles in society has a positive impact, from caring for the environment, having an impact on people's health, to the economy and the creation of new technology. Hybrid vehicles are an ever-evolving industry, which means they are constantly improving in terms of efficiency and performance.

For all of the above, the design of a hybrid vehicle that combines three different technologies is proposed to achieve greater performance and energy efficiency, in addition to contributing to the care of the environment.

For the manufacture and assembly of the prototype of this vehicle, several tests were carried out in order to determine which are the most recommended materials for the manufacture of the vehicle, as well as to carry out experiments that allowed obtaining the efficiency results of each system.

Palabras claves: Vehículo, híbrido, eficiencia, eléctrico, solar.

INTRODUCCIÓN

La demanda de vehículos esta influenciada por una gran variedad de factores entre los cuales se destaca la necesidad de transporte personal y comercial, el aumento de la población, traslado de mercancías, entre otras cosas.

Los medios de transporte como los vehículos motorizados y los aviones emiten grandes cantidades de gases de efecto invernadero, especialmente dióxido de carbono, que contribuyen al calentamiento global y al cambio climático. Aunque ya existen alternativas que contribuyen a disminuir los gases contaminantes aun no son suficientes, pues se busca reducir al máximo y si es posible eliminar la contaminación ambiental.

Los vehículos híbridos en la actualidad ofrecen una serie de ventajas y características que los hacen atractivos para muchos consumidores como por ejemplo eficiencia de combustible ya que combinan un motor de combustión interna con uno o mas motores eléctricos, esta combinación permite un uso mas eficiente del combustible y por lo tanto una mayor economía de combustible en comparación con los vehículos convencionales. Estos pueden ahorrar combustible y reducir costos de combustible a largo plazo. Teniendo en cuenta lo anterior, se busca mitigar la problemática ambiental que se genera con el uso de vehículos convencionales, por tal motivo se propone el diseño y fabricación de un vehículo

* Tecnológico de Estudios Superiores de Ixtapaluca, Investigación, milau_50@hotmail.com M.I.I. Miriam Laura Juárez Hernández, Dr. Cesar Fabian Reyes Manzano, Investigación, cesarrm5@hotmail.com, M.I.I. Daniel González Villanueva, Tecnológico de Estudios Superiores de Oriente del Estado de México. solelectric@hotmail.com



híbrido que trabaje con tres sistemas alternativos para su funcionamiento, que contribuya al cuidado medio ambiental.

ANTECEDENTES

Derivado de las consecuencias provocadas por la contaminación con la utilización de vehículos convencionales que son una primera necesidad en estos tiempos, algunos autores buscan alternativas que brinden una opción al combinar diferentes tecnologías y conceptos que permitan el desarrollo tecnológico en el diseño y fabricación de nuevos vehículos híbridos, que contribuyan al medio ambiente.

El primer vehículo híbrido se fabricó en 1899 por Henrie Pieper, quien diseñó un motor que giraba a velocidad constante utilizando un dinamo. La energía eléctrica que utilizaba para mover motores eléctricos en el eje delantero incrustados en las ruedas considerando así el primer vehículo de tracción delantera (Ver figura 1).

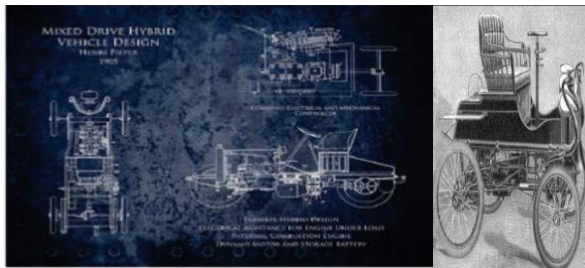


Figura 1. Diseño de un vehículo híbrido de Henri Pieper.

Este vehículo contaba con dos motores, uno de combustión y otro eléctrico, cada uno de esos motores entraba en acción automáticamente cada vez que fuera necesario, cuando se perdía velocidad la batería del motor se recargaba transformando el movimiento en electricidad sin necesidad de requerir de una fuente externa, iniciaba su movimiento con el motor eléctrico alimentado de los acumuladores de energía.

Se han desarrollado propuestas de diseños de prototipos utilizando las tecnologías que mejoran la eficiencia de funcionamiento en diferentes sistemas como: baterías (Hidalgo, 2019); (Figura 2), tracción (Cristian Gonzalo Choca Socoy, 2022) (Figura 3), ecológicos para movilidad urbana, (Lopez, 2019) control (Figura 4), entre otros.



Figura 2. Prototipo de un vehículo híbrido de tres ruedas.



Figura 3. Prototipo de un vehículo de chasis tubular.



Figura 4. Prototipo de un vehículo ALSO2.

Los vehículos híbridos han experimentado importantes avances en los últimos años, estos avances se centran en áreas clave como la tecnología y la autonomía eléctrica. En la industria automotriz han utilizado sistemas de propulsión híbridos más avanzados y eficientes. Los motores de combustión interna se han combinado con motores eléctricos más potentes y sofisticados así como las baterías que utilizan para estos vehículos se han vuelto más potentes y de mayor capacidad.

También algunos cuentan con un enchufe que combinan un motor de combustión interna con una batería recargable de mayor capacidad ofreciendo una autonomía eléctrica permitiendo recorrer distancias más largas sin utilizar combustible y reducir las emisiones de manera significativa.

El resultado de los avances tecnológicos en la industria automovilística sirvió para lanzar una gama de automóviles



modernos que empresas como Toyota, Honda, BMW (Figura 5) cuentan con automóviles híbridos en su programa de producción y actualmente los exportan a todos los países del mercado (figura 6). También se han fabricado varios diseños de vehículos híbridos militares (Figura 7).



Figura 5. Diseño vehículo híbrido Honda.



Figura 6. Diseño Tesla.



Figura 7. Prototipo VAMTAC ST5 híbrido.

Con el análisis de las propuestas se observa que se siguen buscando alternativas con mejores características para el diseño de vehículos híbridos con el fin de mejorar su eficiencia y aumentar la producción que cubra la demanda de vehículos.

DESARROLLO DEL TEMA

La apertura de los vehículos híbridos en el mercado ha sido un proceso gradual que ha ido evolucionando a lo largo de años. Los fabricantes de automóviles han invertido en investigación y tecnología para crear vehículos híbridos eficientes y atractivos. El aumento de la conciencia sobre los problemas ambientales, como el cambio climático y la contaminación del aire ha llevado a un mayor interés, los consumidores están buscando opciones más ecológicas y eficientes en términos de consumo de combustible y emisiones.

Este proyecto esta dirigido a la industria automotriz que continuamente busca mejorar la eficiencia del combustible, cumplir con las regulaciones, adaptarse a las preferencias del consumidor, impulsando la innovación tecnológica y avanzar hacia la movilidad eléctrica mediante el desarrollo y la promoción de vehículos híbridos.

Para el desarrollo del prototipo se diseñaron modelos 3D en SolidWorks y skétchup; se diseñaron archivos pieza y ensamble con medidas reales a escala para verificar el ensamble de los diferentes sistemas y dispositivos dentro de las medidas establecidas para el desarrollo del prototipo. A partir de los diseños y modelos, las auto partes de la carrocería, suspensión y dirección se imprimieron en una impresora 3D.



Figura 8. Diseño de carcasa de prototipo.

Para el desarrollo del proyecto se diseñó en un programa sketchup de simulación y se utilizó una impresora 3d marca flasforge para obtener la base del arquetipo (Ver figura 8).

En el sistema de combustión externa se diseñó y calculo el diámetro y longitud de los émbolos y se manufacturo mediante torno CNC y fresadora, resultando ser un sistema sumamente versátil ya que puede utilizar una gran variedad de combustibles; realizándose pruebas con aceite reciclado en combinación con un detonante para aumentar la eficiencia de la combustión, aceites naturales, alcohol y ceras náurales.

Para el sistema fotovoltaico de acuerdo con las necesidades de corriente y voltaje del motor eléctrico para impulsar el vehículo; se



calculó el número de paneles fotovoltaicos y de acuerdo con las características necesarias se escogieron en el catálogo del fabricante, se construyó el circuito regulador y estabilizador de voltaje capaz de recargar de energía el sistema 'A' de baterías.

El sistema eléctrico está constituido por un tomacorriente que puede conectarse al suministro de energía eléctrica de 127 VCA de una casa habitación para transformar esa energía en corriente directa: mediante un transformador eléctrico, un rectificador de onda completa y un regulador de voltaje, con el objetivo de recargar el sistema 'B' de baterías y poder impulsar el motor eléctrico.

El sistema de control se realiza mediante la programación de un microcontrolador y con ayuda de la plataforma de Arduino, de tal manera que compara que sistema de baterías tiene más energía, para elegir con que sistema comenzara a funcionar, el sistema de baterías del sistema fotovoltaico siempre estará recargándose siempre y cuando lo permitan las condiciones ambientales, está programado para sensar cuando ambos sistemas de baterías se encuentren por debajo del 20% de energía, automáticamente se encenderá la máquina de combustión externa proporcionando energía al motor eléctrico para el impulso del vehículo, además al mismo tiempo empezara a recargar el sistema de baterías con menor nivel de energía, ya sea el alimentado por el sistema fotovoltaico o el alimentado por el tomacorriente de la casa habitación. El sistema de control realizara la conmutación de los sistemas de forma automática.

Se realizaron varias pruebas de las cuales se presentarán los resultados más adelante, sin embargo, antes de presentar resultados finales se realizo un proceso de reingeniería mediante un análisis de los 8 pasos Deming con lo cual se lograron realizar varias modificaciones con el objetivo de elevar el rendimiento de los sistemas (Figura 9).



Figura 9. Diseño de prototipo.

RESULTADOS Y ANALISIS

Se realizo una prueba de velocidad considerando las siguientes características mostradas en la tabla 1.

Tabla 1. Prueba de velocidad con respecto del tiempo.

Peso del vehículo(kg)	Velocidad (m/s)	Distancia recorrida(m)	Tiempo(s)
1.5 kg	0.5	1,427.60	2855.2
1.5 kg	0.51	1,461.30	2865.3
1.5 kg	0.5	1,454.20	2908.4
Carga extra-1.75 kg	0.45	1,387.90	3084.2
Carga extra-1.75 kg	0.47	1,392.60	2963.0
Carga extra-1.75 kg	0.48	1,398.80	2914.2
Carga extra-2 kg	0.41	1,345.10	3280.7
Carga extra-2 kg	0.39	1,338.40	3431.8
Carga extra-2 kg	0.4	1,341.70	3354.3

Se realizaron tres pruebas de velocidad y cada una se realizo por triplicado, la primera prueba es sin carga es decir considerando solo el peso del vehículo, la velocidad en este caso fue prácticamente constante prestando una variabilidad despreciable. La distancia recorrida en esta prueba si tiene una significativa variabilidad teniendo resultados diferentes, lo que atribuimos a que

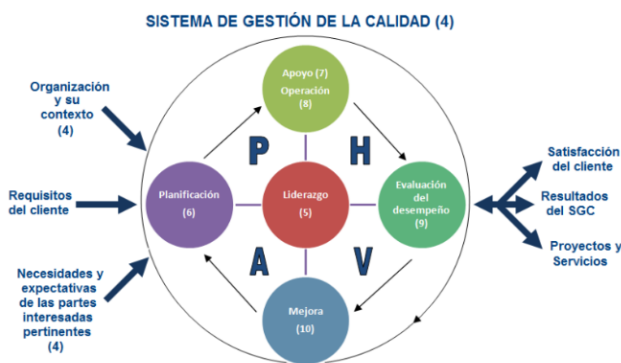


Figura 9. Pasos de deming para mejora de los procesos de calidad.

Se obtuvo la siguiente propuesta integrando todos los sistemas.



en cada caso los tiempos en que trabajo cada uno de los sistemas fue diferente en cada una de las pruebas, los resultados de los tiempos también fueron diferente; sin embargo, esto es congruente de acuerdo a la distancia que recorrió el vehículo en cada una de las pruebas.

También se realizaron dos pruebas en las cuales se le agrego una carga extra, en esta prueba los resultados obtenidos fueron de acuerdo a los resultados esperados de tal forma que las distancias recorridas son menores a las distancias recorridas sin carga y los tiempos aumentan de forma proporcional a la disminución de las distancias recorridas, sin embargo se esperaba a que las distancias recorridas fueran menores y los tiempos mayores en las pruebas de velocidad del vehículo con carga; estos resultados los atribuimos a que el vehículo con carga puede tener menor fricción entre las llantas y la superficie del suelo. Para trabajos futuros se pueden realizar pruebas con neumáticos de diferentes materiales que se aproximen a los neumáticos reales.

Tabla 2. Prueba de combustión con respecto del tiempo.

Combustible utilizado	Cantidad (ml)	Tiempo de combustión (s)
Alcohol	250	3,584
Alcohol	260	3,598
Alcohol	270	3,621
Aceite reciclado	250	3,486
Aceite reciclado	260	3,494
Aceite reciclado	270	3,517
Cera natural	250	3,591
Cera natural	260	3,606
Cera natural	270	3,654

En esta prueba se utilizaron tres cantidades diferentes de combustible y tres diferentes combustibles, además las pruebas se realizaron por triplicado, la prueba incluye alcohol, aceite reciclado enriquecido con un detonante y cera natural. De acuerdo con los resultados obtenidos el alcohol es el combustible que proporciona menos tiempo de combustión; probablemente a que también es un líquido volátil lo cual produce perdidas, se esperaba a que fuera el combustible idóneo sin embargo fue con el que se obtuvo los peores tiempos de acuerdo con la tabla de resultados, se puede proponer a partir de este resultado como trabajo futuro un dispositivo de reingeniería que pueda disminuir la perdida por evaporación del alcohol. De esta prueba sin ser un resultado esperado se obtiene que para esta primera fase del prototipo la cera natural es el mejor combustible utilizado obteniendo los mejores tiempos de prueba.

En general los motores de combustión externa son generalmente menos eficientes en términos de conversión de energía que los motores de combustión interna. Sin embargo, tienen algunas ventajas, como la capacidad de utilizar una variedad más amplia de combustibles y la capacidad de quemar combustibles de manera más limpia y controlada. Además, algunos motores de combustión externa, como los motores Stirling, son conocidos por su funcionamiento silencioso y su baja emisión de ruidos y vibraciones.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- Cristian Gonzalo Choca Socoy, J. C. (12 de Marzo de 2022). Escuela Superior Politecnica de Chomborazo. *Diseño e implementacion de un sistema traccion electrica aplicado a un vehiculo prototipo de tres ruedas*. Riobamba, Ecuador.
- diseño y Construccion de un prototipo de vehiculo hibrido ecologico para movilidad urbana . (12 de Marzo de 2020). *Escuela Superior Politecnica de Chimborazo*. Riobamba-Ecuador.
- Hidalgo, B. D. (19 de Febrero de 2019). Diseño e implementacion de un poste de recarga de baterias para un protitipo de vehiculo hibrido en la esvuela der ingenieria automotriz. *ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO*. Roobamba, Ecuador.
- Lopez, D. S. (septiembre de 2019). Implementacion de un sistema de control de velocidad para un prototipo de vehiculo electrico autonomo. *Esscuela Tecnuca Superior de Ingenietros Industriales y de Telecomunicacion*. Cantabria.
- Macias, N. (2022). Diseño de prototipo de carga para vehiculos electricos basado en sistemas fotovoltaicos hibridos. *Escuela de Ciencias Basicas Tecnologia e Ingenieria*.

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Miriam Laura Juárez Hernández: Ingeniero Mecatrónico egresada del Tecnológico de Estudios Superiores de Chimalhuacán, Maestra en Ingeniería Industrial egresada del Tecnológico de Estudios Superiores de Oriente del Estado de México.

Cesar Fabian Reyes Manzano: Ingeniero en biónica, egresado del Instituto Politécnico Nacional, Maestro y Doctor en Tecnología avanzada en la misma casa de estudios.

Daniel González Villanueva: Ingeniero Mecatrónico egresada del Tecnológico de Estudios Superiores de Chimalhuacán, Maestra en Ingeniería Industrial egresada del Tecnológico de Estudios Superiores de Oriente del Estado de México.



Diseño de una máquina impresora braille en base arquitectura Python

Juan Eduardo Lopez-Carrillo, Karla Maria Estrada-Salazar, Guillermo Urriolagoitia-Sosa, Beatriz Romero-Ángeles

RESUMEN

Es crucial garantizar la equidad educativa para las personas con discapacidad visual en nuestra nación. Sin embargo, las instituciones educativas en México se enfrentan al desafío de contar con recursos económicos para enseñar lenguaje braille. Por consiguiente, una impresora braille de bajo costo se vuelve un instrumento esencial para fomentar la inclusión educativa. La programación en Python desempeña un papel fundamental en el avance científico en México, lo cual beneficia la creación y el diseño de implementaciones que ayuden a las escuelas tanto públicas como privadas a disponer de una impresora braille asequible en sus aulas. El diseño de la impresora se ha realizado utilizando la arquitectura Python, elegida debido a su amplia comunidad de desarrolladores y su versatilidad. La facilidad de uso también fue un factor considerado al seleccionar este lenguaje de programación. Esta impresora, que produce texto en relieve de manera rápida y precisa, permitirá que los estudiantes con discapacidades visuales accedan fácilmente a la información escrita. La eficiencia del dispositivo fomenta su participación activa en el proceso educativo y promoviendo un aprendizaje dinámico.

La disponibilidad de una impresora braille a un precio accesible en México tiene un impacto significativo en la igualdad de oportunidades para las personas con discapacidad visual. Además, la incorporación de la programación en Python en el diseño de la máquina garantiza su adaptabilidad y futuras mejoras. Este proyecto tiene como objetivo impulsar la inclusión educativa y promover la tecnología accesible como una herramienta para el desarrollo integral de las personas con discapacidad visual en México.

ABSTRACT

It is crucial to ensure educational equity for individuals with visual disabilities in our nation. However, educational institutions in Mexico face the challenge of having limited financial resources to teach braille language. Therefore, a low-cost braille printer becomes an essential instrument to promote educational inclusion. Python programming plays a fundamental role in scientific advancement in Mexico, benefiting the creation and design of implementations that help both public and private schools have an affordable braille printer in their classrooms. The printer's design

has been developed using the Python architecture, chosen for its extensive developer community and versatility. User-friendliness was also a considered factor when selecting this programming language. This printer, capable of quickly and accurately producing raised text, will enable students with visual disabilities to easily access written information. The efficiency of the device encourages their active participation in the educational process and promoting dynamic learning.

The availability of an affordable braille printer in Mexico has a significant impact on equal opportunities for individuals with visual disabilities. Additionally, incorporating Python programming into the machine's design ensures its adaptability and future improvements. This project aims to drive educational inclusion and promote accessible technology as a tool for the comprehensive development of individuals with visual disabilities in Mexico.

Palabras claves: Diseño, braille, Impresora, Mecánica, Python, Discapacidad.

INTRODUCCIÓN

En México, la discapacidad visual ha sido un gran desafío que afecta la calidad de vida de un sector de la población. A lo largo de la historia, han existido varias corporaciones o programas que ayudaban a solventar dicha situación. La Asociación para Evitar la Ceguera en México (AECM) fue fundada el 13 de agosto de 1918 en la ciudad de Puebla, siendo la primera en abogar por las herramientas de mejora de vida para las personas que sufrían dicho impedimento visual, encabezados por el Dr. José Terrés, bajo el nombre de "Junta para la Prevención de la Ceguera en México" (Sánchez-huerta, Sánchez-Fontán & Salcedo-Casillas 2019, pp 300-304). La ceguera es un problema de salud pública en México y el glaucoma es la primera causa de ceguera en el país (Gilbert-Lucido, García-Huerta, Ruiz-Quintero, Gil-Carrasco & García-López, 2010, pp 86-90).

Actualmente en nuestro país, la inclusión de las personas con discapacidad visual en las instituciones educativas mexicanas se ha limitado a unas pocas áreas donde se brindan apoyos especiales relacionados con métodos educativos adaptados a las necesidades de aquellos con deficiencia visual parcial o total (Ugarte, 2022, pp 101-147). Según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), se estima que hay alrededor de 126 millones de personas en total que viven en el país, y se ha identificado que aproximadamente 5.7 millones de personas tienen alguna dificultad física o mental para realizar actividades de la vida cotidiana, lo que representa aproximadamente el 5.13% de la población total del país. Dentro de este grupo, se observa que el 58.8% (aproximadamente 3.35 millones) de las personas con discapacidad

* Instituto Politécnico Nacional Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Sección de Estudios de Posgrado e Investigación Unidad Profesional Adolfo López Mateos, "Zacatenco", edif. 5, 2do Piso, Col. Lindavista, Alcaldía Gustavo A. Madero, C.P. 07320, Ciudad de México, México.

Correo electrónico de contacto: jlopezc2212@alumno.ipn.mx





en México presentan dificultades motrices. Además, el 28.5% (alrededor de 1.63 millones) tiene deficiencias visuales, el 11% (cerca de 627,000) sufre de deficiencias auditivas, el 9.9% (aproximadamente 564,000) tiene discapacidad mental y el 2.7% (alrededor de 154,000) enfrenta discapacidad del habla o lenguaje. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2023).

Es relevante resaltar que en México se presentan importantes limitaciones en cuanto a los recursos disponibles para proporcionar el apoyo necesario a estas personas. La escasez de recursos adecuados a discapacidades se convierte en un impedimento para asegurar el acceso a las herramientas visuales indispensables en el ámbito educativo. Como consecuencia, numerosos niños con discapacidad visual enfrentan obstáculos en su nivel de educación y tienen dificultades para desarrollar plenamente sus capacidades. (Reynaga-Peña, 2019, pp 53).

FUNCIONAMIENTO

Con el fin de abordar eficazmente este problema, se ha optado por aprovechar la tecnología de impresión en 2D y 3D. Esta elección se basa en las numerosas ventajas que brindan, permitiendo la creación de un completo conjunto de herramientas didácticas para las aulas de educación primaria en todo el país. Estas herramientas no solo beneficiarán a un solo salón de clases, sino que podrán ser utilizadas por toda una escuela. Además, la simplicidad de uso, junto con los costos de mantenimiento y materiales, no representarán una carga significativa para los estudiantes y profesores.

Desarrollo de los prototipos

El proyecto se divide en tres áreas de trabajo: el desarrollo de software y programación, la fabricación de los dispositivos y el área de capacitación y mantenimiento. Además, se ha considerado un plan de distribución a nivel nacional para que esta tecnología pueda abarcar diferentes áreas de la educación y beneficiar al mayor número de personas posible.

La propuesta consiste en desarrollar un dispositivo que ayude a personas invidentes. Este dispositivo tiene la capacidad de transformar documentos digitales escritos en caracteres alfabéticos al lenguaje braille. Además, puede imprimir el texto en formato braille estándar en placas y bases didácticas en 3D, o en papel y hojas de vida útil baja en formato 2D. El objetivo principal es automatizar el proceso manual de creación de texto braille, permitiendo ingresar el texto requerido y traducirlo automáticamente mediante el uso de herramientas de software actuales y la programación en Python.

Recopilación y procesamiento de texto:

Debe existir un sistema que permita el ingreso de texto en formato digital, ya sea a través de una interfaz de usuario o mediante la lectura de archivos de texto. La elección de utilizar archivos en formato Word o PDF se basa principalmente en su amplio uso y facilidad de acceso en diversos dispositivos actuales. Esto permite generar el texto en una computadora, independientemente del sistema operativo que se utilice, e incluso en un teléfono móvil

actual. La propuesta de trabajo y de impresión se ajustará según las necesidades del profesor y los materiales requeridos.

Se utilizarán herramientas de software, como bibliotecas de procesamiento de texto en Python, para manipular y formatear el texto según sea necesario en el proceso de impresión en 2D. Los programas se ejecutarán automáticamente al tener el documento listo para imprimir. Sin embargo, no se implementarán medidas de seguridad ni exclusividad de código, ya que se pretende que cualquier persona con conocimientos de programación en Python pueda interactuar con el código y modificarlo según sus necesidades.

En cuanto a la impresión en 3D, el uso de Python ayudará a transformar los puntos de comunicación entre el usuario y los programas adicionales, dependiendo de la impresora 3D utilizada. También se brindará la posibilidad de interactuar con el código y modificarlo según las necesidades requeridas.

Traducción a braille:

Se necesita una biblioteca basada en un algoritmo que convierta el texto en caracteres alfabéticos a su equivalente en braille. Para este proceso, se utiliza el Reconocimiento Óptico de Caracteres (OCR). El proceso implica adquirir una imagen y procesarla de manera que se extraigan los caracteres de todo tipo y se traduzcan al lenguaje braille. La tecnología OCR varía según la calidad de la imagen, pero en conjunto con el programa OpenOffice, que es un programa de software libre y de código abierto que ofrece un conjunto de aplicaciones de productividad de oficina, ayuda a maximizar la precisión y minimizar los errores. Por otro lado, implica que todo lo anterior sea dirigido a dos tipos de salida de impresión: la 2D y la 3D, ya que se utilizan dos procesos de impresión totalmente distintos. Se pueden utilizar reglas de traducción personalizadas o bibliotecas existentes de Python, como "Pytesseract" o "pybraille", para realizar la conversión. Solamente se tendrán que adaptar al código y al proceso que se llevará a cabo para la traducción.

Figura 1 Funcionamiento de OCR (Smith,2007, pp 629-633).



Impresión en formato braille:

Para imprimir en un formato de braille en placas didácticas en 3D con relieve en braille, se opta por utilizar una impresora braille diseñada específicamente para este propósito. Esta impresora se ha desarrollado en conjunto del paquete de las impresiones que busca maximizar la economía al utilizar estas herramientas de apoyo,



utilizando principalmente madera para la estructura completa que conforma el 90% de las piezas, lo que facilita su replicación. Además, se proporcionarán todos los planos e instructivos necesarios para el montaje de la impresora.

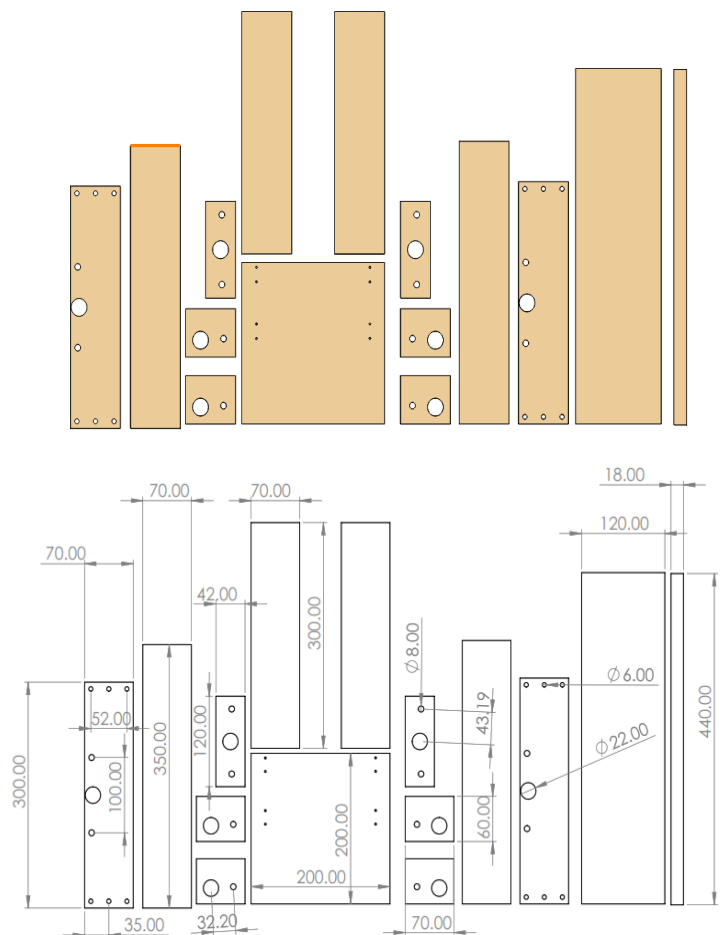
Materiales de construcción impresora 3D

Los elementos que conforman la impresora 3D son los siguientes. Es importante destacar que se trata de materiales muy económicos que no afectarían el cambio parcial o total de las partes del funcionamiento mecánico en la escuela o área donde se instale. Aunque son materiales básicos, si se desea, se podrá modificar con materiales de mayor calidad para mejorar su funcionamiento a lo largo del tiempo de uso.

1. Estructura: Las partes que componen la estructura están fabricadas principalmente de madera. Esta elección se basa en su bajo costo y su capacidad para proporcionar soporte y estabilidad al conjunto de la impresora. Es importante tener en cuenta que el uso de MDF no se recomienda, a menos que se le aplique barniz.
2. Extrusor y fusor: El extrusor y el fusor utilizados son variantes que operan con cinco voltajes básicos. Estas variantes permiten ajustar la velocidad y la cantidad de material que se extrude y funde durante el proceso.
3. Ejes: Los ejes de la impresora están compuestos por varillas no corrugadas de 1/4 de pulgada de diámetro, con longitudes de 25 cm y 34 cm. Estas varillas garantizan un desplazamiento suave y preciso de los componentes.
4. Varillas y rodamientos: Se utilizan dos pares de varillas, uno de 25 cm y otro de 34 cm, en diferentes secciones de la impresora. Estas varillas, junto con los rodamientos, aseguran la estabilidad y el correcto desplazamiento de los componentes.
5. Husillos: La impresora cuenta con husillos de 25 cm y 34 cm, los cuales son elementos utilizados para el movimiento vertical. Estos husillos permiten ajustar la posición de los componentes de manera precisa.
6. Fuente de alimentación: La energía necesaria para el funcionamiento de la impresora 3D es suministrada por dos cargadores de teléfono de 5 voltios, que actúan como fuente de alimentación.
7. Placa base: En esta impresora se utiliza la placa Arduino Mega como su placa base. Esta placa, que funciona como el cerebro de la impresora, cuenta con un procesador potente y suficientes capacidades de entrada y salida (E/S) para controlar los diferentes componentes.
8. Base sujetadora de correa tipo cincho: Para asegurar y tensar la correa de transmisión de la impresora 3D, se utilizan ocho bases sujetadoras de correa tipo cincho.

En la parte de la estructura, todas las piezas pueden ser manufacturadas con herramientas de fácil acceso, ya que se diseñaron con medidas estandarizadas y ajustadas a su tamaño.

Figura 2 Piezas con planos de estructura principal.



Dado que la impresora no es de gran tamaño y se puede programar fácilmente (con Arduino ya cargado), su instalación no debería llevar más de 15 minutos. Se estima que su vida útil será de aproximadamente 2 años de uso al realizar un mantenimiento regular y adecuado, se asegura un funcionamiento óptimo y se previenen problemas que puedan acortar la vida útil del equipo o 10,000 horas de uso continuo. Esto incluye cuidados específicos que se mencionan en el plan de mantenimiento, en conjunto de revisiones periódicas que contribuyen a maximizar su rendimiento manteniendo una impresión confiable y de calidad a lo largo del tiempo.

Plan de mantenimiento

El plan de mantenimiento de la impresora 3D básica es importante, ya que garantiza su óptimo funcionamiento a lo largo de su vida

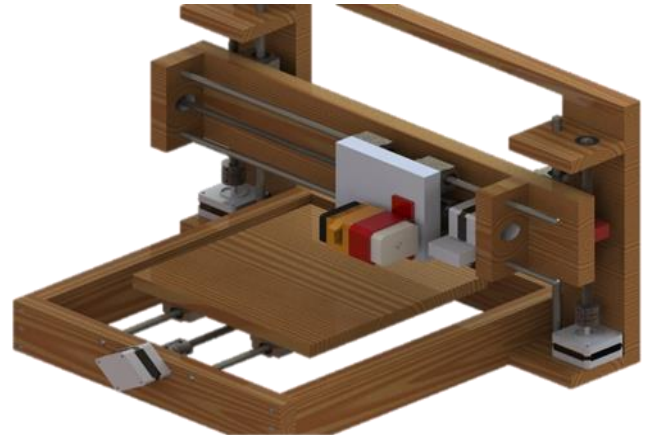


útil. Para ello, se deben seguir una serie de pasos para mantenerla en buen estado.

- En primer lugar, es necesario llevar a cabo una limpieza regular para eliminar el polvo y la suciedad acumulada en el filamento. Esta tarea se puede realizar utilizando un pequeño cepillo o aire comprimido. La limpieza debe llevarse a cabo una o dos veces por semana.
- El nivelado de la cama de impresión es otra tarea importante. Antes de cada impresión, especialmente si la impresora se encuentra en un entorno donde se manipula con frecuencia, como un aula de clases, se debe revisar y ajustar el nivel de la cama de impresión.
- Algunas partes móviles de la impresora 3D pueden requerir lubricación periódica. Si se observan alteraciones en la exactitud de las impresiones finales, es recomendable realizar una lubricación preventiva aproximadamente una vez al mes.
- Es fundamental realizar inspecciones regulares de los componentes de la impresora 3D, como correas, poleas, rodamientos y tornillos, para detectar cualquier desgaste o daño que pueda afectar su funcionamiento.
- El extrusor es una de las partes más importantes en el uso de las impresoras 3D básicas. Se debe desmontar cuidadosamente y limpiar a fondo con las herramientas proporcionadas para calibrarlo, garantizando así un flujo continuo de material suave.
- Es recomendable verificar si la comunidad de Python tiene nuevos complementos que puedan corregir o reducir las imperfecciones de las impresiones finales, actualizando el firmware de la impresora si es necesario.
- Siempre que se desmonte alguna de las piezas de la impresora 3D, es necesario realizar la calibración y ajuste adecuados en su totalidad para garantizar la vida útil y el buen funcionamiento de todas las piezas.
- Por último, se debe reemplazar regularmente los consumibles, como las boquillas y las láminas de construcción, ya que cada uno tiene una vida útil específica y se deben manejar los desperdicios de acuerdo a las indicaciones.

Siguiendo el plan general de mantenimiento, cumpliendo con los tiempos y las normas de calibración requeridas para la impresión, y realizando pruebas según las condiciones de trabajo, se garantizará una mayor vida útil del producto.

Figura 3 Propuesta de impresora 3D.



Para imprimir en formato braille en papel en 2D, el proceso es completamente distinto. Se requiere una impresora de inyección de tinta capaz de imprimir en relación cara/base, es decir, una impresora que pueda imprimir en ambos lados al mismo tiempo. Aprovechando esta función de la impresora, el proceso de impresión solo se reflejará en la cara posterior de la hoja, de manera que toda la información salga impresa boca abajo. En este caso, se utiliza papel encerado y papel blanco manila como materiales. Estos tipos de impresoras permiten configurar una mayor cantidad de inyección de tinta, por lo que se le aplicará el doble en este caso. Después de salir de la impresora, la impresión pasa a una bandeja donde se le añade un polvo compuesto de fécula de maíz utilizado como espesante en alimentos y almidón alimentario de trigo. Este polvo se adhiere y se endurece al entrar en contacto con la tinta, generando el relieve necesario para su lectura en braille.

Figura 4 Impresión braille en 2D.





La calidad de impresión es tan precisa que se puede comparar a las impresiones de los libros de texto proporcionados por la Secretaría de Educación Pública (SEP) para personas con discapacidad visual. Además, la combinación de la textura del papel encerado con los bordes creados por el polvo facilita la detección táctil del braille en comparación con el papel convencional.

Automatización:

Se utiliza Python para automatizar el proceso. Cuando se decide qué tipo de impresión se tendrá, este tipo de lenguaje ayuda al usuario a pasar automáticamente la información a traducir, utilizando los diversos programas que realizan los cambios alfanuméricos a lenguaje braille sin ningún tipo de intervención, en caso de que no tenga conocimiento de los programas. Por otro lado, la comunicación de la computadora en relación a las impresoras se ve beneficiada al seleccionar una u otra de manera autónoma.

Dentro de la impresión 3D, en específico, Python se encarga de pasar los textos escritos en braille ya traducidos en formato estereolitografiado (STL) a la impresora 3D, ya sea de del paquete propuesto o alguna externa, trabajando con los paquetes "Pygame" y "OpenSCAD" para generar modelos en 3D basados en el texto traducido. Si se requiere una interfaz de usuario, se pueden utilizar bibliotecas como "Tkinter" o "PyQt" para crear una interfaz gráfica donde los usuarios puedan ingresar el texto y controlar el proceso de impresión de manera más sencilla, con la limitante de que no se podrá interactuar con diferentes formatos de textos, aparte de los que se redacten en el programa.

Software utilizado.

Pytesseract

Pytesseract es una herramienta de OCR para Python que reconoce el texto dentro de imágenes. Es capaz de leer todos los tipos de imágenes compatibles en Windows. Su funcionamiento permite extraer la información de las imágenes y guardarla en un archivo de texto editable.

```
import pytesseract

# Cargar la imagen
imagen = Image.open("imagen.png")

# Utilizar pytesseract para extraer el
texto de la imagen
texto =
pytesseract.image_to_string(imagen)

# Imprimir el texto extraído
print(texto)
```

En este ejemplo, se importa la biblioteca Pytesseract y la imagen de un archivo. En este caso, se trata de una imagen llamada "imagen.png". Se utiliza la función `image_to_string()` de Pytesseract para extraer el texto de la imagen, el cual se almacena en la variable "texto" y finalmente, se imprime el texto extraído. Pybraille:

Pybraille es una herramienta para Python que reconoce el texto alfanumérico dentro de documentos con el fin de realizar la conversión de texto a braille. Esta herramienta es capaz de leer

```
import pybraille

# Crea una instancia de la clase
PyBraille
braille = pybraille.PyBraille()

# Define el texto a convertir
texto = "Hola, esto es un ejemplo de
texto en Braille."

# Convierte el texto en Braille
resultado = braille.to_braille(texto)

# Imprime el resultado
print(resultado)
```

todos los tipos de documentos de texto compatibles con Windows. Su funcionamiento permite extraer la información alfanumérica de los documentos y guardarla en un archivo de texto editable que contiene representaciones visuales de los caracteres Braille.

En este ejemplo, se importa la biblioteca pybraille. Se utiliza la función de definición de texto para convertirlo en Braille y se emplea la función `to_braille()` para realizar dicha conversión. El resultado se almacena en la variable "resultado" y, finalmente, se imprime el texto extraído.

Tkinter:

Tkinter es una herramienta para Python que permite crear interfaces gráficas de usuario. Esta herramienta es capaz de todos los elementos de la interfaz de los programas a utilizar con las impresoras 2D y 3D.



```
import tkinter

# Crear una ventana
ventana = tk.Tk()
ventana.title("Interfaz impresora
braille")
ventana.geometry("400x300")

# Crear una etiqueta
etiqueta = tk.Label(ventana,
text=";Impresora braille!")
etiqueta.pack()

# Ejecutar el bucle de eventos
ventana.mainloop()
```

En este ejemplo, se importa la biblioteca tkinter. Se utiliza la función para crear una ventana utilizando `tk.Tk()`. Se le asigna un título y un tamaño utilizando `ventana.title()` y `ventana.geometry()`. Se crea una etiqueta con el texto "Impresora braille" utilizando la función `tk.Label()` y se agrega a la ventana con la función `etiqueta.pack()`. Finalmente, se ejecuta la ventana.

CONCLUSIÓN

Actualmente, el desarrollo de la tecnología 3D es cada vez más accesible. Esto abre un gran espectro de posibilidades para la creación de herramientas didácticas que ayuden a solucionar las problemáticas de la sociedad. La implementación de tecnologías de impresión braille en formato 2D y 3D representa un avance significativo en la inclusión educativa de las personas con discapacidad visual en México.

Las soluciones tecnológicas ayudan a superar las limitaciones al adaptar materiales actuales a las necesidades de estas personas, mejorando así su calidad de vida. Sin embargo, es fundamental seguir generando estas tecnologías y facilitar su acceso a los docentes. Además, es importante dar a conocer la gran desigualdad existente en muchos aspectos, empezando por la educación a la que muchas personas se enfrentan diariamente. Con un poco de apoyo de la tecnología, podrán acceder a más oportunidades y alcanzar su máximo potencial.

NOMENCLATURA

INEGI = Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
AECM = Asociación para Evitar la Ceguera en México.
2D = Dos dimensiones.
3D = Tres dimensiones.
OCR = Reconocimiento Óptico de Caracteres.
PDF = formato de documentos portátiles.
MDF = Medium Density Fibreboard.
Arduino = placa electrónica de hardware libre.
SEP = Secretaría de Educación Pública.

STL = Formato Estereolitografiado.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

Gilbert-Lucido, M. E., García-Huerta, M., Ruiz-Quintero, N., Gil-Carrasco, F., García-López, A., & Casab-Rueda, H. (2010). Estudio epidemiológico de glaucoma en población mexicana. *Revista Mexicana de Oftalmología*, 84(2), 86-90.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (s/f). Discapacidad. Recuperado el 4 de junio de 2023, de <https://www.inegi.org.mx/temas/discapacidad/>

Reynaga-Peña, C. G., & Fernández-Cárdenas, J. M. (2019). La educación científica de alumnos con discapacidad visual: un análisis en el contexto mexicano. *Sinéctica*, 53.

Sánchez-Huerta, V., Sánchez-Fontán, R., & Salcedo-Casillas, G. (2019). History of a great effort... 100 years fighting to avoid blindness-Asociación para Evitar la Ceguera en México, "Hospital Dr. Luis Sánchez Bulnes," IAP. *Revista Mexicana de Oftalmología*, 92(6), 300-304.

Smith, R. (2007, septiembre). Una descripción general del motor Tesseract OCR. En Novena conferencia internacional sobre análisis y reconocimiento de documentos (ICDAR 2007) (Vol. 2, pp. 629-633).

Ugarte, M. E. G. (2022). Posiciones gubernamentales, políticas, sociales y religiosas sobre el movimiento estudiantil de 1968 en México. *Lusitania Sacra*, (46), 101-147.

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Juan Eduardo Lopez Carrillo: Ingeniero Mecatrónico egresado de la Universidad Tecnológica de Durango. Actualmente Alumno de Maestría en Ciencias en Ingeniería mecánica en la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional en México.

Karla Maria Estrada Salazar: Ingeniero Mecatrónico egresado de la Universidad Tecnológica de Durango. Actualmente Alumna de Maestría en Ciencias en Ingeniería mecánica en la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional en México.

Guillermo Urriolagoitia Sosa: Ingeniero Mecánico egresado de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional, Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica en Diseño Mecánico en la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional en México, Maestría en Ciencias de la Universidad de Oxford del Reino Unido con especialidad en fatiga por frotamiento y Doctorado en Filosofía de la Universidad de Oxford Brookes del Reino Unido con





especialidad en Esfuerzos Residuales. Actualmente Profesor Investigador Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional en México.

Beatriz Romero Ángeles: Ingeniero Mecánico egresada de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional, Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica no lineal en la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional en México y Doctorado en Ciencias en Ingeniería Mecánica en Arresto de Grietas en la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional en México. Actualmente Profesor Investigador Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional en México.





Electromagnetismo: circuito resonante

Pedro Guzmán Tinajero,* Aidé Castro Fuentes, Ramón Osorio Galicia,*** Víctor Hugo Hernández Gómez******

RESUMEN

El presente artículo muestra las experiencias de los académicos del Claustro de Teoría Electromagnética, para enfrentar la enseñanza del circuito resonante (RCL). Considerando un ejemplo de aplicación, para cumplir los temas de la asignatura de Teoría Electromagnética, impartida a los alumnos de la Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones Sistemas y Electrónica.

Como resultado de la investigación se observó que la linealidad esperada por el comportamiento de la Ley de Ohm en forma vectorial, se ve afectada por la frecuencia. Obteniendo una campana de gauss en lugar de un efecto de recta esperado como se hace mención en la teoría constantemente.

ABSTRACT

This article shows the experiences of the academics of the Electromagnetic Theory, to face the teaching of the resonant circuit (RCL). Considering an example of application, to meet the topics of the subject of Electromagnetic Theory, taught to students of the Engineering in Telecommunications Systems and Electronics.

As a result of the investigation, it was observed that the linearity expected by the behavior of Ohm's Law in vector form is affected by the frequency. Obtaining a Gaussian bell instead of an expected line effect as constantly mentioned in theory.

Palabras claves: Electromagnetismo, Prácticas, Teoría Electromagnética, Conocimiento, Aplicación.

INTRODUCCIÓN

La Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC), nació como uno de los primeros Campus Académicos fuera del área de la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), fue fundada el 22 de abril de 1974, como Escuela Nacional de Estudios Profesionales Cuautitlán (ENEPC), adquiriendo el grado de Facultad posteriormente al contar con

estudios de posgrado. Actualmente cuenta con 17 carreras, una de ellas a distancia y se ha caracterizado por el trabajo multi e interdisciplinario, en una estructura matricial.

Uno de los Departamentos que atiende varias carreras dentro de la FESC es el Departamento de Física, los profesores que integran el Departamento han trabajado desde hace varios años en Claustros del conocimiento, buscando la mejora continua, para brindar a los alumnos y alumnas, un mayor conocimiento adaptándose a las necesidades del país.

ANTECEDENTES

El Claustro de Teoría Electromagnética se encuentra integrado actualmente por los siguientes académicos:

Ing. Baruch Arriaga Morales, Ing. Eduardo Carrizales Ramírez, Ing. Aide Castro Fuentes, Ing. Juan Rogelio Castro Sánchez, Ing. Lucía García Luna, Dr. Pedro Guzmán Tinajero, Dr. Ramón Osorio Galicia, Ing. Ángel Rueda Ángeles, Ing. César Rueda Ángeles, Ing. Antonio Serrano Aponte, Ing. Ana María Terreros de la Rosa y Dr. Víctor Hugo Hernández Gómez, Carlos González Hernández y Gilberto González Ortíz.

En la carrera de Ingeniero en Telecomunicaciones Sistemas y Electrónica, la asignatura de Teoría Electromagnética se imparte en el quinto semestre. Es una materia obligatoria y cuenta con 10 créditos ya que su naturaleza es teórico - práctica. Es decir, cuenta con una parte experimental que se imparte en el laboratorio.

Las prácticas de laboratorio se han ido revisando por el Claustro de manera semestral, en el circuito oscilador pasivo (CL), se muestra a los alumnos la formación y propagación de la Onda TEM, sin embargo, se consideró la posibilidad de anexar el circuito amortiguado (RCL), derivado de las pérdidas en los procesos de propagación. Esto considerando que el futuro inmediato es el desarrollo de las Telecomunicaciones espaciales.

DESARROLLO

En el Claustro de Teoría Electromagnética, se decidió de manera colegiada que todas las prácticas que integran el manual, debían estar conformadas por la misma estructura, ésta contaría con nueve rubros como se observa en la tabla 1.

* Dr. Pedro Guzmán Tinajero. Departamento de Física. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM. Carretera Cuautitlán-Teoloyucan km 2.5, Cuautitlán Izcalli, Estado de México. Correo electrónico: pgconacyt@gmail.com.

** Ing. Aide Castro Fuentes. Departamento de Física. Correo electrónico: imefuentes@hotmail.com.

*** Dr. Ramón Osorio Galicia. Departamento de Física. Correo electrónico: rosoriog@unam.mx.

**** Dr. Víctor Hugo Hernández Gómez. Departamento de Ingeniería. Laboratorio de Investigación en energías Renovables – UIM. Correo electrónico: vichugo@unam.mx.





Tabla 1.- Estructura general de las prácticas

No.	Nombre
I	Portada
II	Conocimientos previos
III	Objetivos
IV	Fundamentos teóricos
V	Material y equipo
VI	Cuestionario previo
VII	Desarrollo
VIII	Conclusiones
IX	Bibliografía y referencias

Fuente: Claustro de Teoría Electromagnética FESC

Una vez acordada la forma que tendrían los documentos, se revisó el plan de estudios vigente de la asignatura de Teoría Electromagnética (Aprobado por el Consejo Técnico de la Facultad) y publicado en la página oficial de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, FESC [1], con la finalidad de hacer las prácticas acordes a la teoría.

Actualmente, en el manual de prácticas de Teoría Electromagnética, se cuenta con 8 prácticas, como se observa en la tabla 2.

Tabla 2.- Estructura general de las prácticas

No.	Nombre
I	Leyes de Gauss
II	Ley de Faraday - Lenz
III	Ley de Ampère
IV	Ondas TEM
V	Propagación de ondas TEM
VI	Espectro electromagnético
VII	Potencia electromagnética
VIII	Líneas de cable coaxial

Fuente: Claustro de Teoría Electromagnética FESC

La práctica IV Ondas TEM, es considerada una de las fundamentales en el estudio de la Teoría Electromagnética. Esto es derivado de la importancia, para los alumnos y alumnas, de conocer los circuitos básicos generadores de ondas como es el caso del circuito CL, considerado como circuito oscilador de tipo pasivo.

LA PRÁCTICA IV

La práctica IV se bautizó con el nombre de Ondas TEM, debido a que pertenece al programa aprobado por el H. Consejo Técnico, en su Unidad 2. Ondas electromagnéticas y tiene un impacto directo con el subtema 2.4 Ondas Electromagnéticas en el Espacio Libre. Como se puede apreciar en la Figura 1.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
LICENCIATURA: INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES
SISTEMAS Y ELECTRÓNICA

DENOMINACIÓN DE LA ASIGNATURA:
Teoría Electromagnética

IDENTIFICACIÓN DE LA ASIGNATURA

MODALIDAD: Curso
TIPO DE ASIGNATURA: Teórico - Práctica
SEMESTRE EN QUE SE IMPARTE: Quinto
CARÁCTER DE LA ASIGNATURA: Obligatoria
NÚMERO DE CRÉDITOS: 10

HORA DE CLASE A LA SEMANA:	Teóricos:	Prácticos:	Semanas de clase:	TOTAL DE HORAS:
6	4	2	16	96

SERIACIÓN INDICATIVA ANTECEDENTE: Electricidad y Magnetismo
SERIACIÓN OBLIGATORIA SUB SECUENTE: Ninguna

OBJETIVO GENERAL
Al finalizar el curso el alumno comprenderá las Leyes de comportamiento de las ondas electromagnéticas y su interacción en distintos medios de propagación.

ÍNDICE TEMÁTICO			
UNIDAD	TEMA	Horas Teóricas	Horas Prácticas
1	Fundamentos de Electrodinámica	12	8
2	Ondas Electromagnéticas	18	8
3	Transmisión de Ondas Electromagnéticas	18	8
4	Líneas de Transmisión	16	8
Total de Horas		64	32
Suma Total de las Horas		96	

Figura 1.- Temario de Teoría Electromagnética Fuente: FESC (2023)

En la última revisión del manual de prácticas para el período 2023-II, la práctica IV Ondas TEM, contaba con un procedimiento que permitía llevar a los alumnos y alumnas a conocer el circuito oscilador pasivo CL, alimentándolo con un generador de señales.

En el desarrollo se iniciaba con un circuito solamente capacitivo, para mostrar que este elemento solo no producía oscilaciones y que la señal de entrada era prácticamente una copia calca de la señal en el Generador de señales. Ver figura 2.

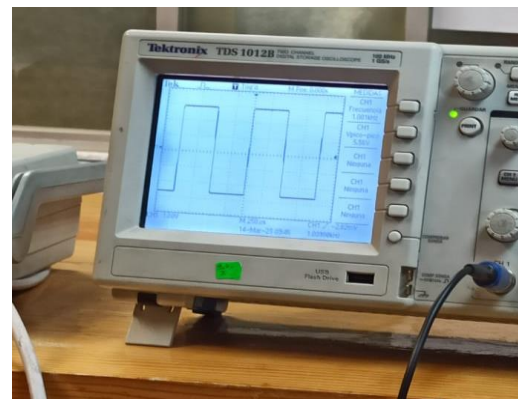


Figura 2.- Señal cuadrada alimentando un capacitor Fuente: Claustro de Teoría Electromagnética FESC



Posteriormente se añade al circuito capacitivo un inductor conectado en serie. Ver figura 3., esto que produce un circuito oscilador, en este nuevo arreglo se observan las componentes capacitivas e inductivas interactuar con la señal de alimentación y se mide su impacto en una señal senoidal, triangular y finalmente cuadrada.

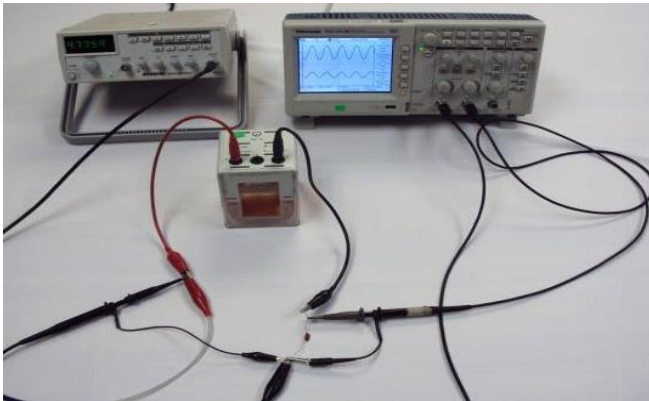


Figura 3.- Material y Equipo
Fuente: Claustro de Teoría Electromagnética FESC

La señal cuadrada actúa para este caso como una componente continua la mitad de su intervalo periódico, proporcionando una oscilación equivalente a la obtenida por una señal de corriente continua. Ver figura 4.

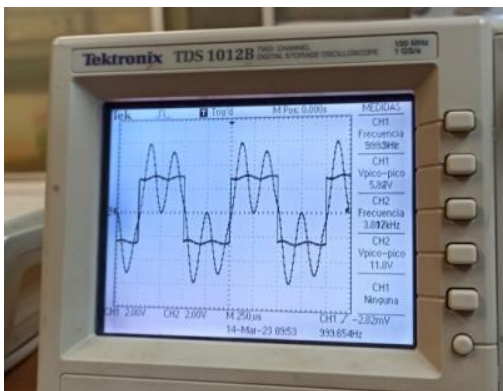


Figura 4.- Respuesta oscilatoria en una señal cuadrada
Fuente: Claustro de Teoría Electromagnética FESC

Sin embargo, se detecta de manera experimental que, al cambiar la frecuencia, la cantidad de ondas producidas en la mitad de la onda alimentada por el generador de funciones, también cambia produciendo incluso un efecto visual de mayor de atenuación. Ver figura 5

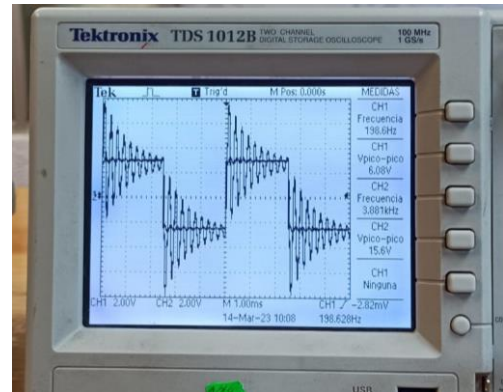


Figura 5.- Respuesta oscilatoria en una señal cuadrada
Fuente: Claustro de Teoría Electromagnética FESC

Este hallazgo para los alumnos los llevó a cuestionar el efecto atenuante que tiene la parte resistiva del circuito, así como la importancia de la frecuencia en este tipo de arreglos. Brindando la pauta para adicionar a la práctica el concepto de señal amortiguada (RCL) y el efecto de resonancia asociado a la frecuencia.

RESISTOR Y RESISTENCIA

Como menciona Guzmán [2]. El resistor es un elemento eléctrico que deja pasar la corriente eléctrica, pero a cambio “se queda con algo”, en el caso de los circuitos ese algo es voltaje, transformándolo en luz o en calor.

Los resistores pueden ser de diversos materiales como: carbón, metal, cerámica, silicio, cromo o níquel entre otros componentes. Los más comunes y que usamos en el laboratorio de Teoría Electromagnética son de carbón, aunque en algunos casos llegamos a utilizar de cerámica. Los de carbón vienen marcados con un código de colores, su representación en diagramas eléctricos es una línea quebrada, Ver figura 6.

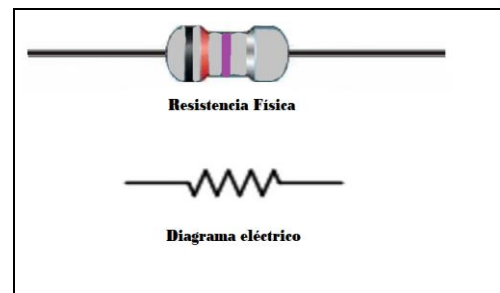


Figura 6.- Resistencia Eléctrica
Fuente: Claustro de Teoría Electromagnética FESC



REACTANCIA ELÉCTRICA

La reactancia eléctrica es el valor de la resistencia imaginaria de un capacitor o un inductor al paso del flujo de cargas cuando se le alimenta con un voltaje de corriente alterna. Existen reactancias tanto capacitivas X_C como inductivas X_L , en ambos casos afectadas por la frecuencia angular ω , estos valores son representados por números imaginarios enmarcados por la letra j (no se utiliza i , para no confundirla con la intensidad de corriente eléctrica), es interesante apuntar que la reactancia capacitiva y la reactancia inductiva se presentan con signos opuestos, lo que brinda la oportunidad de su anulación en la suma algebraica produciendo el fenómeno conocido como resonancia, Ver Ecs. (1) – (2) (Autoría propia)

$$X_L = j \omega L \quad (1)$$

$$X_C = -j \frac{1}{\omega C} \quad (2)$$

Se debe recordar que la presencia de la alternancia se encuentra en la variación angular ω , pues ésta está conformada por la frecuencia de la onda y la relación de 2π . Por consiguiente, una variación en la frecuencia invariablemente causará una variación en la “resistencia” que ofrece el capacitor y el inductor respectivamente.

RESONANCIA ELÉCTRICA

Como se apuntó previamente la resonancia se produce cuando la reactancia capacitiva y la reactancia inductiva poseen la misma magnitud, ya que derivado de su signo algebraico al sumarlas, éstas se restan, ofreciendo la posibilidad de anularse matemáticamente a pesar de existir físicamente. Considerando la impedancia como el número complejo formado por el circuito RCL, su puede considerar a ésta en la Ec (3). (Autoría propia)

$$Z = R + j \omega L - j \frac{1}{\omega C} \quad (3)$$

Por consiguiente, en un circuito resonante la impedancia debe comportarse totalmente real, es decir como si no existiera la componente capacitiva y la inductiva. Ec. (4) (Autoría propia)

$$Z = R + 0j \quad (4)$$

EXPERIMENTO

Para brindar la oportunidad de observar el fenómeno de resonancia, se solicitó el material y equipo de la tabla 3, posteriormente se realizaron pruebas considerando diferentes frecuencias, menores y mayores a la teórica, calculada con la fórmula de la frecuencia de resonancia indicada en la Ec. (4). (Autoría propia)

Tabla 3.- Material para realizar el efecto de resonancia

Cantidad	Material y Equipo
1	Osciloscopio con sus puntas
1	Generador de funciones o señales con su punta
1	Capacitor cerámico de 47 nF
1	Inductor de 36 mh
1	Resistor de 1000 Ω
1	Juego de cables de conexión

Fuente: Claustro de Teoría Electromagnética FESC

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{CL}} \quad (4)$$

El valor calculado para la frecuencia de resonancia fue de 3,869.18 Hz. Al considerar los valores del Capacitor cerámico de 47 nF, del Inductor de 36 mh y del Resistor de 1000 Ω . Esta frecuencia teórica se calculó considerando los parámetros nominales de los equipos. Primero se conectó un circuito puramente resistivo tomando las lecturas de corriente eficaz, posteriormente el circuito RCL con una frecuencia por debajo de la de resonancia, midiendo nuevamente la corriente, realizando el mismo experimento a la frecuencia de resonancia y finalmente por encima de ésta.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Al conectar el circuito puramente resistivo se obtuvo una corriente eficaz de 5.16 mA, cuando se conectó el circuito RCL a una frecuencia de 3,853.7 Hz.

Cuando se alimentó el circuito RCL a una frecuencia de 1.54 KHz, se obtuvo una corriente eficaz de 2.42 mA, cuando se subió la frecuencia a 5.2 KHz se obtuvo una corriente eficaz de 4.54 mA, sin embargo, cuando se aumentó a la frecuencia a 6 KHz, la corriente volvió a bajar a hora a 4.02mA. Y al llegar a 7 KHz nuevamente bajó la corriente hasta 3.89 mA.

Se observó entonces que se estaba haciendo una campana de Gauss, donde el valor máximo tendía a la frecuencia de resonancia. Pero al sobrepasar éste la tendencia era a la baja nuevamente.

Al alimentar a la frecuencia de resonancia de 3.85 KHz la corriente subió a 5.03 mA. En otras palabras, la corriente máxima se obtuvo a los valores de resonancia. Sin embargo, la corriente teórica esperada con valores nominales era de 5.3 mA y la obtenida experimentalmente con el circuito puramente resistivo fue de 5.16 mA. Esto quiere decir que existieron algunas pérdidas que, aunque mínimas, deben ser consideradas cuando impartimos la cátedra ante los alumnos de licenciatura.

CONCLUSIONES

Para los futuros ingenieros e ingenieras en Telecomunicaciones, Sistemas y Electrónica, resulta imprescindible contar con bases de Teoría Electromagnética. Si bien es cierto que los cálculos teóricos se aproximan mucho a los prácticos, el vivenciar en el laboratorio el efecto resonante en los circuitos RCL les permite una mejor comprensión de los efectos inductivos y capacitivos.

Temas como el vector de Pointyng, son más sencillos de entender cuando los alumnos y alumnas observan los modelos electrónicos



en el laboratorio, considerando las semejanzas e incluso las vinculaciones de una onda magnética con un inductor, una onda eléctrica con el capacitor y un medio de propagación con el resistor. Finalmente, es importante recalcar que los valores nominales de los materiales y equipos están sujetos al propio uso y desgaste de los mismos, así como a condiciones como alimentación o temperatura de operación. Pero, a pesar de ello, resultan muy convenientes para el modelado de las Ondas TEM, objetivo de esta práctica.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

FESC (2023). Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. <https://www.cuautitlan.unam.mx/licenciaturas/itse/>. México 2023.

Guzmán, P. et al (2022). Estudio práctico del Circuito RL en corriente directa y alterna. Memorias del Congreso Científico Tecnológico de las carreras de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Industrial y Telecomunicaciones, sistemas y electrónica. AÑO 7. No. 7. ISSN-2448-7236. SEPTIEMBRE 2022 – AGOSTO 2023. FE-02. 1 - 7.

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Pedro Guzmán Tinajero. Doctor en Gestión Tecnológica e Innovación. Responsable del Claustro de Teoría Electromagnética del Departamento de Física de la FES Cuautitlán y Profesor de carrera del Departamento de Física de la FES Cuautitlán.

Aide Castro Fuentes. Ingeniera Mecánica Electricista. Miembro del Claustro de Teoría Electromagnética del Departamento de Física de la FES Cuautitlán de la UNAM.

Ramón Osorio Galicia. Doctor en Educación. Miembro del Claustro de Teoría Electromagnética del Departamento de Física de la FES Cuautitlán.

Víctor Hugo Hernández Gómez. Doctor en Ingeniería. Responsable del Laboratorio en Energías Renovables de la FES Cuautitlán. Profesor de carrera del Departamento de Ingeniería de la FES Cuautitlán.





Segunda ley de Newton: componentes normal y tangencial, usando el software de análisis de video *Tracker*, bajo el programa PIAPIME ID 1.33.15.22

***Roberto Reyes Arce*¹, *Yesenia Sánchez Fuentes*², *José Castillo Sánchez*³, *Juan Rogelio Castro Sánchez*⁴,
*Norma Daniela Hernández Rodríguez*⁵, *Pablo Osnaya Osnaya*⁶**

RESUMEN

La pandemia COVID 19 puso al descubierto problemas en la enseñanza-aprendizaje en los laboratorios experimentales del departamento de Física de la FESC, quien no contaba con manuales de prácticas de laboratorio para elaborar a distancia, además de lo anterior actualmente los manuales de prácticas de los laboratorios de Cinemática y Dinámica, Física II, Mecánica Clásica solo cuentan con siete prácticas para desarrollar con los alumnos de las asignaturas mencionadas. Como parte del manual de prácticas que se elaboró durante la pandemia, una de ellas es con el tema de la segunda ley de Newton usando componentes normal y tangencial para las asignaturas mencionadas de las carreras de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Ingeniería en Telecomunicaciones, Sistemas y Electrónica, Ingeniería Industrial, Ingeniería Agrícola, Tecnología y Química Industrial. El objetivo de la práctica analizar el movimiento de una partícula que describe una trayectoria semicircular en un péndulo, para obtener la velocidad, la aceleración y tensión del cable que sostiene la partícula en cada paso de la trayectoria, mediante la aplicación de un sistema de referencia normal y tangencial, el software de análisis de video *Tracker* [1] y un video del movimiento del péndulo, además de comparar los datos experimentales con los teóricos y calcular los porcentajes de error.

Los resultados obtenidos en la práctica muestran las variaciones de la velocidad, la aceleración y la tensión del cable en función de la posición angular, encontrando sus máximas magnitudes en el punto más bajo de la trayectoria del péndulo excepto la aceleración la cual es mínima en ese punto y por tanto son acorde a lo establecido en la teoría.

ABSTRACT

The COVID 19 pandemic exposed problems in teaching-learning in the experimental laboratories of the Physics department of the FESC, which did not have laboratory practice manuals to prepare remotely, in addition to the above, currently the practice manuals of the Kinematics and Dynamics, Physics II, Classical Mechanics laboratories only have seven practices to develop with the students of the aforementioned subjects. As part of the practice manual that was developed during the pandemic, one of them is on the subject

of Newton's second law using normal and tangential components for the aforementioned subjects of the Electrical Mechanical Engineering, Telecommunications, Systems and Electronics Engineering, Industrial Engineering, Agricultural Engineering, Technology and Industrial Chemistry. The objective of the practice is to analyze the movement of a particle that describes a semicircular trajectory in a pendulum, to obtain the speed, acceleration and tension of the cable that supports the particle in each step of the trajectory, through the application of a reference system. normal and tangential, the *Tracker* video analysis software [1] and a video of the pendulum movement, in addition to comparing the experimental data with the theoretical data and calculating the error percentages. The results obtained in the practice show the variations of the speed, the acceleration and the tension of the cable as a function of the angular position, finding their maximum magnitudes at the lowest point of the pendulum trajectory except the acceleration which is minimum at that point and therefore are in accordance with what is established in the theory.

Palabras claves: Segunda ley de Newton, Tensión, aceleración normal, aceleración tangencial, movimiento de péndulo.

INTRODUCCIÓN

Cuando la trayectoria de movimiento de una partícula es conocida como en el caso del péndulo que tiene las características de ser coplanar y el radio de curvatura constante, como lo menciona Hibbeler (2012) [2] es conveniente hacer el análisis mediante el sistema coordenada normal y tangencial.

La segunda ley de Newton como lo menciona Sears (2009) [3] “para un cuerpo dado, la magnitud de la aceleración es directamente proporcional a la magnitud de la fuerza neta que actúa sobre él.

$$a = \frac{\sum F}{m}$$

En un sistema normal tangencial sus ecuaciones escalares quedan como:

$$\sum F_t = ma_t \quad (1)$$

$$\sum F_n = ma_n \quad (2)$$

* UNAM. FES Cuautitlán, Departamento de Física, 1 Mtro.
roberto_reyes_a@hotmail.com, 2 Mtra. yesna_25@hotmail.com, 3 Ing.

casanj@hotmail.com, 4 Ing. ing.jrcastro@gmail.com, 5 Est. norma.hrdz.97@gmail.com, 6 Est. pablo.o.po608@gmail.com.





$$\sum F_b = 0 \quad (3)$$

La aceleración tangencial la podemos establecer en términos de los cambios de la velocidad, del radio de curvatura y de la posición angular

$$a_t = v \frac{dv}{ds}$$

$$a_t = v \frac{dv}{\rho d\theta} \quad (4)$$

la cual se encarga de los cambios en la magnitud del vector de velocidad.

La aceleración normal la podemos también escribir en términos de la magnitud de la velocidad y el radio de curvatura

$$a_n = \frac{v^2}{\rho} \quad (5)$$

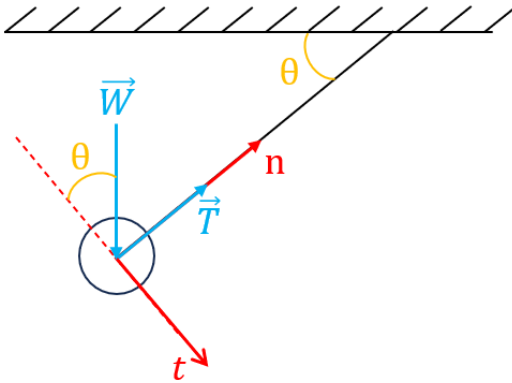
la cual se encarga de los cambios en la dirección del vector de velocidad.

Tensión experimental

El software tracker no tiene la posibilidad de medir fuerza (tensión) por lo que es necesario auxiliarnos de ecuaciones y datos como la velocidad y la posición angular del péndulo para medir la tensión experimental, para esto es necesario considerar el diagrama de cuerpo libre DCL del péndulo en su trayectoria de la Figura 1, el cual nos muestra que dos fuerzas son las que actúan cuando el péndulo se mueve, la tensión del cable y el peso.

Figura 1

Diagrama de cuerpo libre del péndulo



Aplicando la segunda ley de Newton ecuación (2) y la ecuación (5) en el eje normal tenemos:

$$\sum F_n = ma_n = m \frac{v^2}{\rho}$$

$$T - W \sin \theta = m \frac{v^2}{\rho}$$

Despejando la variable de tensión, tenemos que la magnitud de la tensión experimental será:

$$T_e = m \frac{v^2}{\rho} + mg \sin \theta \quad \dots (6)$$

Velocidad teórica

Aplicando la ecuación (1) y (4), en DCL

$$\sum F_t = ma_t = m v \frac{dv}{\rho d\theta}$$

$$mg \cos \theta = m v \frac{dv}{\rho d\theta}$$

Reacomodando valores e integrando

$$\rho g \int_{\theta_0}^{\theta} \cos \theta d\theta = \int_{v_0=0}^v v dv$$

$$\rho g \sin \theta \int_{\theta_0}^{\theta} = \frac{v^2}{2}$$

La velocidad teórica queda como:

$$v^2 = 2\rho g(\sin \theta - \sin \theta_0) \quad \dots (7)$$

Tensión teórica

Sustituyendo la ec. (7) en (6)

$$T = \frac{m}{\rho} (2\rho g \sin \theta - 2\rho g \sin \theta_0) + mg \sin \theta$$

$$T = 2mg \sin \theta - 2mg \sin \theta_0 + mg \sin \theta$$

$$T = (3mg \sin \theta - 2 \sin \theta_0)$$

Finalmente, la tensión teórica queda

$$T_t = mg(3 \sin \theta - 2 \sin \theta_0) \quad \dots (8)$$

Aceleración normal

Sustituyendo la ecuación (7) en la ecuación (5)

$$a_n = \frac{2\rho g(\sin \theta - \sin \theta_0)}{\rho}$$

La aceleración normal queda como:

$$a_n = 2g(\sin \theta - \sin \theta_0) \quad \dots (9)$$

Aceleración tangencial

Aplicando la segunda ley de Newton en el eje tangencial ecuación (1) en el DCL

$$\sum F_t = ma_t$$

$$mg \cos \theta = ma_t$$

Despejando la aceleración tangencial queda como:

$$a_t = g \cos \theta \quad \dots (10)$$

Magnitud del vector de aceleración

$$a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2} \quad \dots (11)$$

ANTECEDENTES

Galindo, A. M. A. [4] formularon una didáctica con orientación a prácticas experimentales para la enseñanza de la dinámica del movimiento circular, al investigar cómo se comportan las fuerzas en diferentes situaciones, y cuáles son las causas que provocan el movimiento con base de las bases de la cinemática. Ellos realizaron las actividades experimentales y las grabaron para posteriormente



analizarlas a través del software de análisis de vídeo Tracker. Indicaron que el software es una herramienta buena para integrar la investigación cualitativa y cuantitativa de la cinemática y dinámica. Ellos determinaron que la adición de nuevas tecnologías además del uso de experimentos en la enseñanza es importante, lo que conlleva a que se genere un buen método didáctico de la física y así motivar a una transición de las clases tradicionales, así como incentivar a los alumnos.

La experimentación del tema de *segunda ley de Newton por componentes normal y tangencial con el software de análisis de vídeo Tracker* en las diferentes asignaturas que da servicio el departamento de Física de la FES-Cuautitlán, no se contaba con alguna práctica para impartir en presencial, híbrida o a distancia

DESARROLLO DEL TEMA

Las variaciones de los parámetros mencionados en el movimiento de péndulo, se realizó mediante el software de análisis de vídeo Tracker y un video del movimiento mencionado, para ello se llevó a cabo el siguiente desarrollo:

1. Elaboración de video

Para elaborar el video se tuvo cuidado en varios aspectos de este como (Figura 2):

- Tener una buena iluminación
- Equipo de grabación fijo en un tripee y que este nivelado.
- Grabación de video en al menos 60 fps, necesario para poder tener un rastreo del Tracker adecuado.
- Contraste de colores entre el carrete y el fondo.

Figura 2

Captura de pantalla de video grabado y usado para la práctica



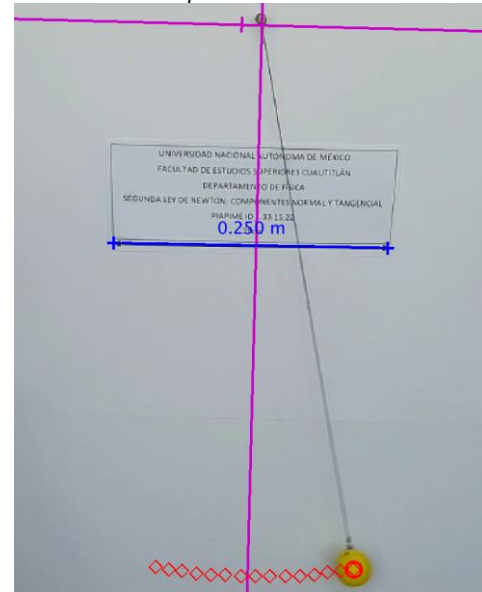
2. Rastreo de puntos del péndulo en Tracker

Una vez elaborado el video se procedió a la configuración del software Tracker mediante el siguiente procedimiento (Figura 3):

- Ajuste de corte de video
- Ajuste en la vara de calibración
- Ubicación de los ejes coordenados
- Generar masa puntal
- Establecer plantilla para rastreo
- Obtener rastreo del movimiento de la pelota

Figura 3

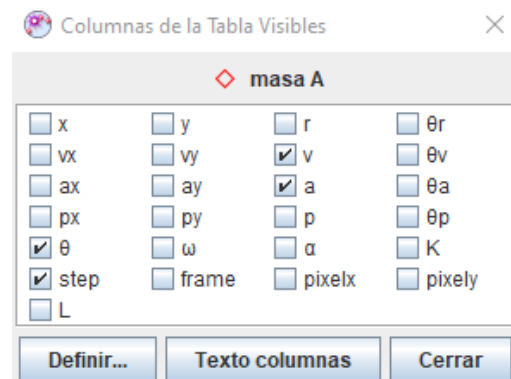
Rastreo del movimiento de péndulo



- Selección de los parámetros posición, velocidad y aceleración (Figura 4).

Figura 4

Selección de parámetros posición angular, velocidad y aceleración y paso



- Medición de la velocidad, posición angular y aceleración experimental del péndulo desde el software Tracker (Tabla 2).



Tabla 1. Medición de velocidad, posición angular y aceleración

Step	Posición angular θ (°)	Velocidad v (m/s)	Aceleración a (m/s ²)
0	68.2	0	
1	68.9	0.2	3.6
2	69.7	0.3	3.32
3	71.4	0.42	3.12
4	72.2	0.48	3.24
5	72.6	0.48	3.11
6	74.2	0.56	2.55
7	75.3	0.6	2.64
8	78.4	0.69	2.36
9	80.4	0.73	1.89
10	81.8	0.75	1.82
11	82.5	0.77	1.63
12	84.1	0.8	1.58
13	87.1	0.81	1.44
14	88.7	0.81	1.42
15	91.9	0.83	1.32
16	98	0.76	1.85
17	98.4	0.75	1.77
18	102.5	0.67	2.24
19	103.4	0.65	2.55
20	103.7	0.63	2.52
21	104.6	0.61	2.71
22	106.8	0.52	2.67
23	107.8	0.49	2.88
24	108.7	0.42	3
25	108.7	0.43	3.3
26	109.4	0.38	3.27
27	110.1	0.32	3.14
28	110.7	0.28	3.37
29	111.2	0.21	3.59

- i) Medición de los valores de la masa de la partícula y radio de curvatura del péndulo (Tabla 1).

Tabla 2. Valor de la masa de la partícula y radio de curvatura

Masa de la partícula m (Kg)	0.179
Radio de curvatura ρ (m)	0.50

Tensión

- j) Cálculo de las tensiones experimentales, teóricas y porcentaje de error (Tabla 3).

Tabla 3. Cálculo de las tensiones experimental, teórica y error

Step	Posición angular θ (°)	Tensión		Error E (%)
		Experimental T_e (N)	Teórica T_t (N)	
0	68.2	1.63	1.63	0
1	68.9	1.65	1.65	0.13
2	69.7	1.67	1.67	0.04
3	71.4	1.72	1.73	0.2
4	72.2	1.75	1.75	0.03
5	72.6	1.75	1.76	0.45
6	74.2	1.8	1.8	0.32
7	75.3	1.82	1.83	0.36
8	78.4	1.88	1.89	0.41
9	80.4	1.92	1.93	0.57
10	81.8	1.93	1.95	0.8
11	82.5	1.95	1.96	0.41
12	84.1	1.97	1.97	0.25
13	87.1	1.98	1.99	0.6
14	88.7	1.98	2	0.74
15	91.9	2	2	0.11
16	98	1.94	1.95	0.58
17	98.4	1.94	1.94	0.44
18	102.5	1.87	1.88	0.47
19	103.4	1.86	1.86	0.09
20	103.7	1.84	1.85	0.55
21	104.6	1.83	1.83	0.16
22	106.8	1.77	1.78	0.12
23	107.8	1.75	1.75	0.14
24	108.7	1.72	1.72	0.12
25	108.7	1.73	1.72	0.07
26	109.4	1.7	1.7	0.03
27	110.1	1.68	1.68	0.04
28	110.7	1.67	1.66	0.15
29	111.2	1.65	1.65	0.07

Velocidad.

- k) Cálculo de las velocidades experimentales, teóricas y porcentaje de error (Tabla 4).



Tabla 4. Cálculo de la velocidad teórica y error

Step	Posición angular θ (°)	Velocidad		Error E (%)
		Experimental v_e (m/s)	Teórica v_t (m/s)	
0	68.2	0	0	
1	68.9	0.2	0.21	6.79
2	69.7	0.3	0.3	1.1
3	71.4	0.42	0.43	2.61
4	72.2	0.48	0.48	0.34
5	72.6	0.48	0.5	4.44
6	74.2	0.56	0.57	2.5
7	75.3	0.6	0.62	2.46
8	78.4	0.69	0.71	2.22
9	80.4	0.73	0.75	2.76
10	81.8	0.75	0.77	3.72
11	82.5	0.77	0.78	1.83
12	84.1	0.8	0.8	1.08
13	87.1	0.81	0.83	2.47
14	88.7	0.81	0.83	3
15	91.9	0.83	0.83	0.44
16	98	0.76	0.78	2.66
17	98.4	0.75	0.77	2.02
18	102.5	0.67	0.68	2.65
19	103.4	0.65	0.66	0.53
20	103.7	0.63	0.65	3.45
21	104.6	0.61	0.62	1.09
22	106.8	0.52	0.53	1.03
23	107.8	0.49	0.48	1.44
24	108.7	0.42	0.42	1.58
25	108.7	0.43	0.43	0.91
26	109.4	0.38	0.38	0.58
27	110.1	0.32	0.32	0.97
28	110.7	0.28	0.26	4.96
29	111.2	0.21	0.2	3.9

Tabla 5. Cálculo de las aceleraciones, normal, tangencial, teórica y error

Step	Aceleración				Error E (%)
	Experimental a_e (m/s ²)	Normal a_t (m/s ²)	Tangencial a_n (m/s ²)	Teórica a_{teo} (m/s ²)	
0	-	0	3.63	3.63	-
1	3.6	0.09	3.52	3.52	2.45
2	3.32	0.18	3.39	3.4	2.23
3	3.12	0.37	3.13	3.15	1.06
4	3.24	0.46	2.98	3.02	7.35
5	3.11	0.51	2.92	2.96	5.13
6	2.55	0.66	2.66	2.74	6.91
7	2.64	0.76	2.48	2.59	1.82
8	2.36	1	1.97	2.21	6.55
9	1.89	1.12	1.63	1.98	4.64
10	1.82	1.2	1.39	1.84	1.12
11	1.63	1.23	1.27	1.77	7.9
12	1.58	1.29	1.01	1.64	3.79
13	1.44	1.37	0.49	1.46	1.49
14	1.42	1.39	0.23	1.41	0.34
15	1.32	1.39	0.32	1.42	7.07
16	1.85	1.21	1.35	1.82	1.96
17	1.77	1.19	1.43	1.86	5.15
18	2.24	0.93	2.12	2.31	3.33
19	2.55	0.86	2.27	2.43	4.83
20	2.52	0.84	2.31	2.46	2.19
21	2.71	0.76	2.47	2.58	4.98
22	2.67	0.56	2.83	2.88	7.27
23	2.88	0.46	2.99	3.02	4.76
24	3	0.36	3.14	3.16	5.22
25	3.3	0.37	3.13	3.15	4.67
26	3.27	0.29	3.25	3.26	0.19
27	3.14	0.2	3.37	3.37	6.96
28	3.37	0.14	3.45	3.45	2.28
29	3.59	0.08	3.53	3.53	1.68

Aceleración

- l) Cálculo de las aceleraciones tangencial, normal y teórica y porcentaje de error (Tabla 5).

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Componentes horizontales

Los resultados obtenidos para el movimiento de un péndulo en cuanto a la tensión del cable, velocidad y las aceleraciones son los siguientes:

Tensión:

El péndulo parte desde una posición angular inicial de 68°, la tensión en ese punto es de 1.63 N y conforme empieza a descender y aumentar la posición angular la tensión también va aumentando hasta alcanzar su máxima de 2 N en una posición angular de 90°, a partir de ahí la tensión descende conforme empieza a subir el péndulo y alcanza su mínima tensión de 1.65 N en el punto más alto en una posición angular de 111°. En cuanto al cálculo de las tensiones teóricas, como lo podemos observar en la Tabla 3, comparando con los datos obtenidos experimentalmente se puede observar que son muy similares las magnitudes de las tensiones en cada uno de los pasos de la trayectoria del péndulo, teniendo porcentajes de error menores al 1 % que van desde 0 % hasta 0.8 %.





Velocidad:

Para los datos obtenidos de la velocidad en la trayectoria del péndulo se encontraron que van desde una mínima velocidad de cero en la posición inicial de 68° hasta una máxima de 0.83 m/s cuando alcanza el punto más bajo en una posición angular de 90° , a partir de ahí empieza a subir el péndulo provocando que disminuya su velocidad hasta un valor cercano a cero cuando alcanza su máxima altura, en una posición angular de 112° . En cuanto a los cálculos de las velocidades teóricas, son muy similares a los datos medidos en el Tracker, como los podemos observar en la Tabla 4, los porcentajes de error son menores al 7 % y van desde 0.34 % hasta el 6.79 %

Aceleración:

La magnitud teórica del vector de aceleración del péndulo se obtuvo a partir del cálculo teórico de las componentes normal y tangencial encontrando que sus variaciones en el caso de la aceleración normal van desde una mínima de cero cuando inicia el movimiento el péndulo para una posición angular inicial de 68° alcanzando un valor máximo en una posición angular de 90° de 1.39 m/s^2 , volviendo a disminuir a cero cuando alcanza su altura máxima el péndulo en una posición angular de 112° , para la aceleración tangencial los valores obtenidos en el cálculo varían de un valor máximo de 3.63 m/s^2 en la posición angular inicial de 68° , disminuyendo hasta un valor de 0.23 m/s^2 conforme va alcanzando su mínima altura en una posición angular de 90° y aumentando de nuevo hasta un valor de 3.53 m/s^2 conforme alcanza su altura máxima en la posición angular de 112° . En cuanto a la magnitud del vector de aceleración experimental el comportamiento en sus variaciones son similares al de la componentes de la aceleración tangencial van de un máximo de 3.6 m/s^2 a la posición angular de 68° a un mínimo de 1.42 m/s^2 en 90° a un máximo de 3.59 m/s^2 , para el caso del cálculo de la aceleración teórica los valores obtenidos son también muy similares a los experimentales como lo podemos observar en la Tabla 5, por último los porcentajes de error son menores al 8 %, varían desde 0.19 % hasta el 6.96 %.

CONCLUSIONES

Una de las necesidades que tiene actualmente el Departamento de Física de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán es la falta de equipo y material nuevo para el laboratorio derivado del bajo presupuesto que tiene anualmente lo que limita en la compra de equipo para generar nuevas prácticas mismas que también representa una necesidad actual en los laboratorios de Física ya que solo cuenta con siete prácticas relacionadas con los temas de movimiento de los cuerpos y fuerzas que actúen en ellos en las asignaturas de Cinemática y Dinámica, Física II y Mecánica Clásica. La presente práctica junto con otras que se han desarrollado con el software de análisis de video Tracker permite que los estudiantes puedan observar y demostrar los conceptos mencionados sin la necesidad de contar con un equipo, solo es necesario grabar un video con cualquier cámara de un celular y analizarlo en el software de análisis de video Tracker, el cual como ya se mencionó al inicio es de libre acceso para usar y descargar en los sistemas Windows o en IOS. También el alcance del número de estudiantes que pueden manipularlo es mayor ya que cada uno de ellos en sus computadoras

personales o del laboratorio puede analizar los datos obtenidos en el desarrollo de la práctica

Esta práctica junto con otras fue desarrollada por las necesidades que se tuvieron durante la pandemia Covid 19 entre los meses de marzo de 2020 a marzo de 2022, y que tuvieron como objetivo principal brindar prácticas que pudieran llevar a cabo los estudiantes y profesores a distancia, por lo que se pueden desarrollar en forma presencial, híbrida o a distancia, inclusive en asignaturas que no cuenta con laboratorio experimental.

En cuanto a los resultados obtenidos en general todos se acercan a los cálculos teóricos como se menciona en el anterior apartado, demuestran que el uso de del software Tracker junto con videos grabados por cuenta propia es una excelente herramienta y opción para desarrollar experimentos de los temas cinemática y de dinámica, que actualmente no cuenta el manual que se usa en el laboratorio de física.

Las diferencias obtenidas en los parámetros teóricos y experimentales son mínimas, las cuales se atribuyen a la calidad del video (fps) y a la ubicación de los puntos del rastreo que hace el programa.

NOMENCLATURA

F = fuerza neta (N)

a = aceleración (m/s^2)

m = masa (kg)

F_n = fuerza normal (N)

a_n = aceleración normal (m/s^2)

F_t = fuerza tangencial (N)

a_t = aceleración tangencial (m/s^2)

F_b = fuerza binormal (N)

v = velocidad (m/s)

ρ = radio de curvatura (m)

θ = posición angular ($^\circ$)

T = tensión (N)

W = peso (N)

T_e = tensión experimental (N)

g = gravedad (m/s^2)

θ_0 = posición angular inicial ($^\circ$)

T_t = tensión teórica (N)

[1] Brown D., Christian W. y Hanson R. M., *Software Tracker Video Analysis and Modeling Tool* (2023), <https://physlets.org/tracker/>

[2] Hibbeler, R. C., *Mecánica Vectorial para Ingenieros - Dinámica*, 2010, 12ª edición, pp. 32 – 39

[3] Young, H. D., A. F. R., Sears, F. W., Ford, A. L., Zemansky, M. W., & Leal, R. G. (2009). *Física universitaria con física moderna 12ED. Volumen II*

[4] Galindo, A. M. A. (2016). *Prácticas experimentales en la enseñanza de la dinámica del movimiento circular. Para maestría. Universidad Nacional de Colombia. Maestría en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales*, <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/58205>



INFORMACIÓN ACADÉMICA

Roberto Reyes Arce: Ingeniero Mecánica Electricista de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM, Maestro en Educación de la Universidad del Valle de México

Yesenia Sánchez Fuentes: Ingeniera Mecánica Electricista de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM, Maestra en Ciencias en Ingeniería Metalúrgica de la Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas, del Instituto Politécnico Nacional

José Castillo Sánchez: Ingeniero Mecánico Electricista de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM

Juan Rogelio Castro Sánchez: Ingeniero Mecánico Electricista de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM

Norma Daniela Hernández Rodríguez: Estudiante de la carrera Ingeniería Industrial de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM

Pablo Osnaya Osnaya: Estudiante de la carrera Ingeniería Industrial de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM





ABP en los laboratorios experimentales de Física, bajo el programa FESC-PIAPIME ID 1.33.07.23

**Roberto Reyes Arce¹, Sandra Rubí Reyes Herrera², Yesenia Sánchez Fuentes³, José Castillo Sánchez⁴,
Juan Rogelio Castro Sánchez⁵**

RESUMEN

Por más de 30 años la enseñanza aprendizaje en el laboratorio experimental de las asignaturas de Cinemática y Dinámica, Física II y Mecánica Clásica de diferentes ingenierías y licenciaturas del área química de la FES Cuautitlán se ha llevado de una manera metódica tipo tradicional donde el desarrollo del experimento se lleva a cabo en una serie de instrucciones que vienen indicadas en los manuales de prácticas, dando más importancia al uso y manejo de equipo y no al aprendizaje de los fenómenos físicos que se quiere comprobar en el experimento. El objetivo de la investigación es “explicar el efecto de la aplicación de una estrategia didáctica constructivista, para promover el aprendizaje de la física en el laboratorio experimental de cinemática y dinámica, mediante el uso del aprendizaje basado en problemas”. Para ello la estrategia ABP se aplicó a una muestra de 43 alumnos de diversas carreras de ingeniería para la realización de la practicas con la estrategia mencionada, la medición del avance en el aprendizaje se llevó a cabo aplicando instrumentos de medición antes y después de la intervención. Los resultados obtenidos al aplicar la prueba *t de student de muestras relacionadas* al instrumento de medición, arrojan en forma general que hay un avance significativo en el aprendizaje con ABP que en una enseñanza tradicional.

ABSTRACT

For more than 30 years, the teaching-learning in the experimental laboratory of the subjects of Kinematics and Dynamics, Physics II and Classical Mechanics of different engineering and undergraduate degrees in the chemical area of the FES Cuautitlán has been carried out in a traditional methodical way where the development of the The experiment is carried out in a series of instructions that are indicated in the practical manuals, giving more importance to the use and handling of the equipment and not to the learning of the physical phenomena that one wants to verify in the experiment. The objective of the research is "to explain the effect of the application of a constructivist didactic strategy, to promote the learning of physics in the experimental laboratory of kinematics and dynamics, through the use of problem-based learning". For this, the ABP strategy was applied to a sample of 43 students from various engineering careers in which the practices were carried out with the

strategy, the measurement of progress in learning was carried out by applying measurement instruments. before and after the intervention. The results obtained by applying the student's t-test of samples related to the measurement instrument, generally show that there is a significant advance in learning with PBL than in traditional teaching.

Palabras claves: Aprendizaje basado en problemas, enseñanza, aprendizaje significativo

INTRODUCCIÓN

Actualmente la educación se basa en el planteamiento de problemáticas de la vida cotidiana por lo que se utilizan diversas estrategias para su resolución y aprendizaje del mismo; una de ellas es el aprendizaje basado en problemas, técnica didáctica que promueve habilidades personales y sociales que pueden utilizarse para este fin, da importancia a la adquisición de conocimiento y desarrollo de habilidades y actitudes a través de la interacción de grupos pequeños de alumnos que se reúnen en equipo para analizar y resolver un problema dado, utilizando para ello sus habilidades de análisis y síntesis. (ITESCA, 2022) [1]

Barrows, (1986) [2] define al ABP como “un método de aprendizaje basado en el principio de usar problemas como punto de partida para la adquisición e integración de los nuevos conocimientos”

En la enseñanza de prácticas en los laboratorios experimentales de física se enfrentan a diversas tareas diseñadas acorde al ABP teniendo como base central tres aspectos esenciales el aprendizaje, la investigación y la reflexión de cada práctica, esto va de la mano con la teoría constructivista, que como lo menciona Schunk (2012) [3] la cual considera que para que se produzca aprendizaje, el conocimiento debe ser construido por el propio sujeto a través de la acción, esto significa que el aprendizaje no es aquello que simplemente se pueda transmitir. En el constructivismo el aprendizaje es activo y no pasivo, sus teóricos rechazan la idea de que existan verdades científicas y esperan el descubrimiento y la verificación, argumentan que ninguna afirmación se puede considerar verdadera y que en vez de eso se deben observar con una duda razonable.

De esta manera los estudiantes en los laboratorios de física pusieron en práctica el ABP, en donde el alumno investigó, reflexionó y utilizó los conocimientos previamente adquiridos para la resolución

* UNAM. FES Cuautitlán, Departamento de Física, 1 Mtro.
roberto_reyes_a@hotmail.com, 2 Mtra. sarureyh100318@gmail.com ,

3 Mtra. yesna_25@hotmail.com, 4 Ing. casanj@hotmail.com, 5 Ing.
ing_jrcastro@gmail.com





de un problema planteado por el profesor promoviendo así la construcción de aprendizaje nuevo a partir de conocimientos ya adquiridos. Este planteamiento de la adquisición del aprendizaje a través del concepto ya aprendido, como lo menciona David Ausubel en Rodríguez (2010) [4] en su teoría del constructivismo refiriendo que en la construcción del conocimiento es de suma importancia el proceso según el cual se relaciona un nuevo conocimiento o una nueva información con la estructura cognitiva de la persona que aprende de forma no arbitraria, sustantiva o no literal; es decir, cada estudiante refuerza conocimientos previos y forma nuevos, dando paso a la investigación y reflexión.

ANTECEDENTES

En el artículo “El aprendizaje en el laboratorio basado en resolución de problemas reales”, Miranda (2009) [5] propone una estrategia didáctica la cual la divide en 5 momentos 1. Se plantea el problema abordar, 2. Investigación de los modelos teóricos, 3. Discusión de resultados, 4. Retomar modelo explicativo, 5. Presentación del reporte de actividades. El artículo no muestra información ni da resultados, si la metodología fue aplicada a alguna muestra, de acuerdo a lo anterior en las universidades “las prácticas de laboratorio son presentadas como recetas, es decir actividades en las que los estudiantes tienen que seguir una serie de pasos para llegar al resultado”.

Sandoval (2017) [6] elabora una investigación sobre el aprendizaje basado en experimentos para mejorar la comprensión de gráficas de movimiento cinemático, los datos mostrados indican que ambos grupos el experimental y el control tuvieron avances en la interpretación de las gráficas de cinemática; para el caso del grupo experimental la ganancia de Hake (escala de 0 a 1) fue del 0.41 situándolo en un nivel bueno, mientras que el grupo control con un 0.12 estando en un nivel inadecuado, por lo que, concluyen que la estrategia basada en experimentos produce mejoras significativas en el análisis de graficas en cinemática lo contrario a la enseñanza tradicional.

DESARROLLO DEL TEMA

Para esta investigación el instrumento se aplicó en 43 alumnos, 22 de ellos son del grupo experimental, de los cuales un 23 % son mujeres y un 77 % son hombres, los 21 alumnos restantes fueron para el grupo control, 5 % son mujeres y el 95 % son hombres, de los cuales se eliminaron 7 debido a que no culminaron el semestre quedando la muestra de 36 alumnos. Están divididos en 8 grupos o secciones, de los cuales 4 son del grupo experimental y los restantes 4 son del grupo control.

Pretest

El instrumento de medición Examen de Conocimientos de Física (ECF) fue elaborado en el año 2015 por catedráticos de la UNAM, pertenecientes al claustro de Mecánica del departamento de Física de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, originalmente constaba de 70 ítems y el propósito es evaluar los conocimientos previos de los estudiantes en cada una de las 7 prácticas del laboratorio experimental de cinemática y dinámica. Se llevó a cabo la validación del instrumento por expertos en el año 2022 con la finalidad de ser usado como instrumento de medición del

aprendizaje de la física en la presente investigación, obtuvo una confiabilidad del 0.67 en el alfa de Cronbach en la prueba piloto a su vez consta de 7 dimensiones, 12 indicadores y 61 ítems, repartidos como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Dimensiones, indicadores e ítems del examen de conocimiento de Física (ECF)

Dimensión	Indicadores	Ítem
1. Movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.	➤ Identifica los movimiento Rectilíneo Uniformemente Acelerado (MRUA) y Movimiento rectilíneo Uniforme (MRU). [1, 2, 3]	
	➤ Identifica las características del movimiento rectilíneo uniformemente acelerado. [4, 5, 6]	1, 2, 3,
	➤ Obtiene los modelos matemáticos experimentales de posición, velocidad y aceleración. [7, 8]	4, 5, 6,
	➤ Relaciona la aceleración experimental del cuerpo con la pendiente de la gráfica velocidad-tiempo (v-t). [9]	7, 8, 9
2. Caída libre de un cuerpo.	➤ Identifica el concepto de tiro vertical y caída libre de un cuerpo. [10, 11, 12, 13]	
	➤ Obtiene los modelos matemáticos experimentales de posición, velocidad y aceleración. [14, 15, 16]	10, 11,
	➤ Relaciona la aceleración experimental de la gravedad con la pendiente de la gráfica velocidad-tiempo (v-t). [17]	12, 13,
		14, 15,
		16, 17
3. Movimiento curvilíneo: tiro parabólico.	➤ Identifica las características de un movimiento de tiro parabólico, ángulo de disparo, velocidad, aceleración, tiempo [18, 19, 20].	
	➤ Identifica el comportamiento de las componentes rectangulares de los vectores de posición, velocidad y aceleración [21, 22, 23, 24].	18, 19,
	➤ Identifica el modelo matemático teórico de la trayectoria del movimiento de tiro parabólico [25].	20, 21,
		22, 23,
		24, 25
4. Relación entre movimientos lineal y angular.	➤ Distingue los tipos de movimientos básicos de un cuerpo rígido: traslación y rotación [26, 27, 28].	
	➤ Identifica las características del movimiento angular [29, 30, 31].	26, 27,
	➤ Obtiene los modelos matemáticos teóricos de la relación entre los movimientos lineal y angular [32, 33, 34, 35].	28, 29,
		30, 31,
		32, 33,
		34, 35
5. Segunda ley de Newton para partícula.	➤ Identifica las características de la segunda ley de Newton [36].	
	➤ Define e identifica los parámetros de la segunda ley de Newton y su relación entre ellos [37, 38, 39, 40].	36, 37,
	➤ Identifica las herramientas que involucra la resolución de un problema de 2ª Ley de Newton [41, 42].	38, 39,
	➤ Obtiene el modelo matemático experimental de la segunda ley de Newton [43].	40, 41,
		42, 43
6. Conservación de la energía mecánica.	➤ Define los conceptos de energía mecánica, energía potencial elástica, energía potencial gravitacional energía cinética, y fuerzas conservativas [44, 45, 46, 47, 48, 49].	44, 45,
	➤ Identifica las características de las energías potenciales y cinética de un cuerpo [50].	46, 47,
	➤ Calcula la energía mecánica experimental en cada instante de tiempo un cuerpo en caída [51].	48, 49,
		50, 51
7. Obtención experimental del coeficiente de restitución.	➤ Investiga las características y los tipos de impacto, parámetros que lo involucran y coeficiente de restitución [52, 53, 54, 55, 56].	52, 53,
	➤ Relaciona los tipos de impacto con el valor del coeficiente de restitución [57, 58].	54, 55,
	➤ Calcula el coeficiente de restitución de los dos cuerpos que colisionan en el experimento [59, 60, 61].	56, 57,
		58, 59,
		60, 61

La forma de evaluar el instrumento es de acuerdo al puntaje total obtenido; a cada ítem se le asigna un valor numérico, a la respuesta correcta un punto, respuesta incorrecta cero puntos y al final se suman las puntuaciones obtenidas en relación con todas las



respuestas correctas, el puntaje total máximo es de 61 puntos el cual se transforma a una escala decimal para obtener su puntuación final. La tabla 2 muestra los niveles de desempeño del instrumento de medición.

Tabla 2. Niveles de desempeño

Puntaje	Nivel de conocimiento
0 - 5.9	Muy bajo
6 - 7.4	Bajo
7.5 - 8.9	Medio
9 - 10	Alto

Al inicio del semestre 2023-I se aplicó el pretest a los grupos control y experimental en forma física y presencial, el cual consistió en aplicar tres instrumentos y un estudio sociodemográfico.

Intervención

El proceso de intervención consistió en aplicar la estrategia de ABP al grupo experimental y al grupo control la estrategia tradicional durante todo el semestre en las siete prácticas programadas que tiene el laboratorio de cinemática y dinámica. Las actividades que se desarrollaron con base al ABP en cada práctica son las mismas, haciendo ajustes razonables a cada tema de cada práctica. Las actividades que se aplicaron fueron las siguientes:

1. Investigación previa. Tiene como objetivo que el alumno conozca en forma general los temas relacionados con la practica a realizar, debido al tiempo que se tiene para realizar las prácticas que solo es de dos horas, en esta etapa los alumnos la llevan a cabo previamente al experimento
2. Presentación del problema. En esta etapa el profesor expone ante los alumnos el problema a resolver para cada uno de los temas de las prácticas, realiza algunos cuestionamientos, motivando la participación de los alumnos para aportar soluciones al problema.
3. Conceptos teóricos. Con ayuda del profesor los estudiantes exponen los temas relacionados y necesarios a cada práctica, para encontrar los modelos teóricos que compararán con los obtenidos en el experimento.
4. Hipótesis y objetivos de la investigación. Se establece una hipótesis de los posibles efectos que se pueden obtener con base a la solución que proponen los alumnos ante el problema, además de establecer objetivos de lo que se desea aprender y del desarrollo del experimento, así como el cumplimiento del aprendizaje esperado de cada tema.
5. Equipo, material y desarrollo del experimento. De acuerdo a la propuesta de solución del problema el profesor hace una lista de equipo y material disponible que pueden ayudar a dar respuesta a la hipótesis y cumplir con los objetivos establecidos, además de dar una explicación del funcionamiento de estos. Los alumnos solicitan el material y equipo, hacen el armado y toman las mediciones necesarias.

6. Procesamiento de datos y análisis de resultados. El profesor guía a los alumnos para obtener gráficas, tablas y cálculos experimentales solicitados. Cada alumno participa en el análisis y comparación de resultados con los datos obtenidos en tablas y gráficas, además de verificar si hay cumplimiento en la hipótesis.
7. Reporte de la práctica. Extra-clase los alumnos elaboran un mapa conceptual del tema y subtemas vistos en cada práctica, además de realizar el reporte de la práctica.

Postest

Una vez aplicadas las estrategias de aprendizaje a cada grupo se procedió aplicar el mismo instrumento de medición (ECF) usado en el pretest a los alumnos que culminaron el semestre, de forma física y presencial en las instalaciones de los laboratorios de física, la cual tuvo una duración máxima de 2 horas.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

La técnica usada para el análisis y resultados es la estadística descriptiva, mediante las herramientas Microsoft Excel y el software estadístico Statistical Package for the Social Sciences (SPSS).

Pretest

La Tabla 3 muestra los resultados generales obtenidos del pretest en el Examen de Conocimientos de Física ECF, para el grupo experimental la calificación media obtenida fue de 6.8250, la cual se desvía 1.0896 puntos de la media, la calificación más repetida fue 7.2, también muestra que el puntaje máximo fue de 9.3 y el mínimo de 4.9 en un rango de 4.4 puntos. A su vez se observa que para el grupo control la calificación media obtenida fue de 6.8313, la cual se desvía 0.7871 puntos de la media, la calificación más repetida fue 6.6, el puntaje máximo fue de 8 y el mínimo de 4.8 en un rango de 3.2 puntos.

Tabla 3. Estadística descriptiva ECF pretest, grupo experimental y control

Experimental	N	Válido	20
		Perdidos	0
		Media	6.8250
		Mediana	6.9500
		Moda	7.20
		Dev. Desviación	1.08960
		Varianza	1.187
		Rango	4.40
		Mínimo	4.90
		Máximo	9.30
Control	N	Válido	16
		Perdidos	0
		Media	6.8313
		Mediana	6.9500
		Moda	6.60
		Dev. Desviación	0.78716
		Varianza	0.620
		Rango	3.20
		Mínimo	4.80
		Máximo	8.00





En cuanto a los niveles de desempeño del instrumento de medición del ECF del pretest para el grupo experimental en la Tabla 4, se puede observar que el 25 % en un nivel muy bajo, el 55 % de los alumnos se sitúan en un nivel bajo, el 15 % en un nivel medio y solo el 5 % en un nivel alto, por otro lado, para el grupo control muestra que el 69 % de los alumnos se sitúan en un nivel de desempeño bajo, el 19 % un nivel medio, el 12% muy bajo y el 0% , es decir, ningún alumno el nivel alto.

Tabla 4. Nivel de desempeño general del ECF pretest, grupo experimental y control

Tipo de grupo	Nivel	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Experimental	Muy bajo	5	25.0	25.0
	Bajo	11	55.0	80.0
	Medio	3	15.0	95.0
	Alto	1	5.0	100.0
	Total	20	100.0	
Control	Muy bajo	2	12.5	12.5
	Bajo	11	68.8	81.3
	Medio	3	18.8	100.0
	Alto	0	0	100
	Total	16	100.0	

Evaluación

La evaluación del avance en el aprendizaje de Física acorde en la intervención del grupo experimental con la estrategia didáctica Aprendizaje Basado en Problemas y la comparación con el avance del grupo control, se realizó mediante la aplicación del examen Postest a los mismos alumnos de los grupos del laboratorio experimental de Cinemática y Dinámica,

Al comparar los valores de las calificaciones medias en forma general entre los exámenes Pretest y Postest, la Tabla 5 muestra que, en el grupo experimental para el instrumento del Examen de Conocimientos de Física ECF, se encontró que el valor medio en el examen Pretest fue de 6.8250 y en el examen Postest de 7.3900 mientras que en el grupo control en el examen Pretest fue de 6.8313 y en el examen Postest de 7.1063.

Tabla 5. Valores medios generales del pretest y postest del instrumento ECF, grupo experimental y control.

Tipo de grupo	Tipo de examen pretest/postest	Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Experimental	Calificación "Examen de Conocimientos de Física ECF"	6.8250	20	1.08960	0.24364
	Calificación "Examen de Conocimientos de Física ECF" _postest	7.3900	20	1.41901	0.31730
Control	Calificación "Examen de Conocimientos de Física ECF"	6.8313	16	0.78716	0.19679
	Calificación "Examen de Conocimientos de Física ECF" _postest	7.1063	16	1.01290	0.25322

Al realizar la prueba *t de Student de muestras relacionadas*, la Tabla 6 muestra que para el grupo experimental el valor obtenido de la

P_{sig} fue de 0.017, la cual es menor a 0.05, por lo que podemos afirmar que de forma general en el ECF existen diferencias significativas entre los valores medios de las calificaciones en el grupo, para el grupo control el valor obtenido de la P_{sig} fue de 0.070 el cual es mayor a 0.05, por lo que podemos afirmar de forma general en el ECF no existen diferencias significativas entre los valores medios de las calificaciones en el grupo.

Tabla 6. Prueba *t de Student para muestras relacionadas del instrumento ECF, grupo experimental y control.*

		Diferencias emparejadas								
Tipo de grupo	Tipo de examen	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95 % de intervalo de confianza de la diferencia			t	p ¹	Sig. (bilateral)
					Inferior	Superior				
Experimental	Calificación "Examen de Conocimientos de Física ECF" - Calificación "Examen de Conocimientos de Física ECF" _Postest	-0.56500	0.97023	0.21695	-1.01908	-0.11092	-2.604	19	0.017	
Control	Calificación "Examen de Conocimientos de Física ECF" - Calificación "Examen de Conocimientos de Física ECF" _Postest	-0.27500	0.56273	0.14068	-0.57486	0.02486	-1.955	15	0.070	

Para las dimensiones del instrumento de medición, la tabla 7 muestra los valores medios de las calificaciones obtenidas en el pretest y Postest, para el grupo experimental en todas las dimensiones existe un avance en los valores medios destacando la dimensión de la segunda ley de Newton, la cual tuvo el mayor incremento de 1.063 puntos y la que obtuvo un retroceso fue la dimensión de conservación de la energía, la cual bajó 0.187 puntos, para el grupo control la dimensión relación entre movimientos lineal y angular tuvo el mayor incremento de 0.938 puntos y la dimensión movimiento curvilíneo: tiro parabólico tuvo un retroceso de 0.079 puntos

Tabla 7. Valores medios del pretest y postest de las dimensiones del instrumento ECF, grupo experimental y control.

Dimensión	Grupo Experimental		Grupo Control	
	Pretest	Postest	Pretest	Postest
Movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.	7.556	7.956	7.708	7.847
Caída libre de un cuerpo.	6.563	7.313	6.719	7.188
Movimiento curvilíneo: tiro parabólico.	5.938	6.688	6.563	6.484
Relación entre movimientos lineal y angular.	6.150	6.500	5.125	6.063
Segunda ley de Newton para partícula.	6.875	7.938	7.266	7.656
Conservación de la energía mecánica.	7.625	7.438	7.578	6.953
Obtención experimental del coeficiente de restitución.	7.150	7.950	7.125	7.563

También se realizó la prueba *t de Student de muestras relacionadas*, a cada una de las dimensiones del instrumento de medición ECF,





para el grupo experimental la Tabla 8 muestra que el valor de la P_{sig} para todas las dimensiones fue mayor de 0.05, excepto la dimensión segunda ley de Newton la cual obtuvo un valor de 0.038, en el grupo control también todas obtuvieron un valor P_{sig} mayor a 0.05, excepto la dimensión relación entre el movimientos lineal y angular la cual obtuvo un valor de 0.038.

Tabla 8. Prueba t de Student para muestras relacionadas para cada dimensión del instrumento ECF, grupo experimental y control.

Dimensión	Grupo Experimental P_{sig}	Grupo Control P_{sig}
Movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.	0.451	0.795
Caída libre de un cuerpo.	0.181	0.449
Movimiento curvilíneo: tiro parabólico.	0.090	0.872
Relación entre movimientos lineal y angular.	0.500	0.038
Segunda ley de Newton para partícula.	0.013	0.333
Conservación de la energía mecánica.	0.634	0.261
Obtención experimental del coeficiente de restitución.	0.199	0.168

En cuanto a los niveles de desempeño del instrumento de medición del ECF del Postest para el grupo experimental en la Tabla 9 se puede observar que el 15 % de los alumnos se sitúan en un nivel muy bajo, el 35 % en un nivel bajo, el 35 % en un nivel medio y 15 % en un nivel alto, por otro lado, para el grupo control muestra que el 12.5 % de los alumnos se sitúan en un nivel de desempeño muy bajo, el 56% en un nivel bajo, el 31.3% en un nivel medio, y ningún alumno el nivel alto.

Tabla 9. Nivel de desempeño general del ECF postest, grupo experimental y control

Tipo de grupo	Nivel	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Experimental	Muy bajo	3	15	15
	Bajo	7	35	50
	Medio	7	35	85
	Alto	73	15	100
	Total	20	100	
Control	Muy bajo	2	12.5	12.5
	Bajo	9	56.3	68.8
	Medio	5	31.3	100
	Alto	0	0	100
	Total	16	100	

CONCLUSIONES

La presente investigación tuvo como propósito demostrar que la estrategia de aprendizaje basado en problemas (ABP) favorece el aprendizaje en los alumnos de tercer semestre de las carreras de

ingeniería de la FESC. Los resultados obtenidos al aplicar la prueba paramétrica de t de Student de muestras relacionadas para el instrumento examen de conocimientos de Física, de forma general arrojó un valor significativo por ser menor de 0.05, lo que implica que la estrategia ABP aplicada al grupo experimental demuestra que los alumnos del mismo grupo tienen un avance más significativo en el aprendizaje en los laboratorios experimentales de Cinemática y Dinámica que los alumnos que cursaron en el grupo control. Así mismo al comparar los valores medios del grupo experimental entre el examen pretest y Postest muestran que los alumnos subieron sus calificaciones medias de un 6.83 a un 7.39 una diferencia de 0.56 puntos, mientras que el grupo control subió de un 6.83 a un 7.11 una diferencia de 0.28 puntos, las diferencias no son tan significativas como se esperaban, posiblemente por las interrupciones en las clases que tuvo el semestre en que se aplicó la intervención o algún otro factor que se deberá analizar para realizar una mejora en la propuesta.

El avance del aprendizaje de la Física en cada una de las dimensiones con los datos obtenidos se observó bajo, aun cuando en general ECF tuvo un valor significativo menor del 0.05, 6 de las 7 dimensiones obtuvo un valor significativo menor del 0.05, por lo que contrasta con el valor general.

Para los niveles de desempeño para el grupo experimental en el pretest el 75 % de los alumnos obtuvo una calificación aprobatoria mientras que para al Postest aumentó a un 85%.

En cuanto a los niveles de desempeño de los alumnos entre el pretest y Postest, para el grupo experimental el nivel alto subió de un 5 % a un 15 %, el nivel medio subió de 15 % a un 35 % mientras que el nivel bajo disminuyó de un 55 % a 35 % y el muy bajo disminuyó de un 25 % a un 15 %. Por el contrario, para el grupo control no se observan los mismos cambios significativos, solo el nivel medio subió de un 18.8% a un 31.3%, ningún alumno alcanzó los niveles altos y para el nivel muy bajo se mantuvo el mismo porcentaje de 12.5%.

Los resultados son alentadores para que en un determinado momento se pueda incluir esta propuesta de estrategia de aprendizaje en todos los grupos de los laboratorios, pero tendrá que realizarse una labor de convencimiento de las ventajas de este cambio en los docentes, ya que implica mayor trabajo y tener un mejor control individual de todas las actividades que llevan a cabo los alumnos en cada una de las practicas.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- [1] (ITESCA, 2022) ITESCA. (12 de 04 de 2022). Instituto Tecnológico Superior de Cajeme. Obtenido de Aprendizaje Colaborativo. Técnicas Didácticas: https://www.itesca.edu.mx/documentos/desarrollo_academico/metodo_aprendizaje_colaborativo.pdf
- [2] Barrows H.S. (1986) A Taxonomy of problem based learning methods, Medical Education, 20:481-486.
- [3] Schunk, D. (2012). Teorías del aprendizaje. Una perspectiva educativa (6a ed.). México: Pearson Educación.
- [4] Rodríguez Palmero, M. L., Moreira, M., Caballero Sahelices, M. C., & Greca, I. M. (2010). *La teoría del aprendizaje significativo en la perspectiva de la psicología cognitiva*. Barcelona: Octaedro.





[5] Miranda Fernández, Carlos Alberto, & Andrés, María Maite. (2009). El aprendizaje en el laboratorio basado en resolución de problemas reales. *SAPIENS*, 10(2), 181-194. Recuperado en 26 de junio de 2023, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1317-58152009000200010&lng=es&tlng=es.

[6] Suarez Rodríguez, Carmen & Sandoval, Manuel. (2017). Estrategia enseñanza -aprendizaje basada en experimentos (ABE) para mejorar la comprensión de gráficas en Cinemática.

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Roberto Reyes Arce: Ingeniero Mecánica Electricista de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM, Maestro en Educación de la Universidad del Valle de México

Sandra Rubí Reyes Herrera: Licenciada en pedagogía de la Universidad Bancaria de México, Maestra en Psicología Educativa de la Universidad Bancaria de México

Yesenia Sánchez Fuentes: Ingeniera Mecánica Electricista de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM, Maestra en Ciencias en Ingeniería Metalúrgica de la Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas, del Instituto Politécnico Nacional

José Castillo Sánchez: Ingeniero Mecánico Electricista de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM

Juan Rogelio Castro Sánchez: Ingeniero Mecánico Electricista de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM





Movimiento curvilíneo: tiro parabólico, usando el software de análisis de video *Tracker*, bajo el programa PIAPIME ID 1.33.15.22

***Roberto Reyes Arce*¹, *Yesenia Sánchez Fuentes*², *José Castillo Sánchez*³, *Juan Rogelio Castro Sánchez*⁴,
*Norma Daniela Hernández Rodríguez*⁵, *Pablo Osnaya Osnaya*⁶**

RESUMEN

En el 2019, la pandemia COVID 19 mostró múltiples dificultades en la enseñanza aprendizaje en los laboratorios experimentales del departamento de Física de la FESC la cual maneja una enseñanza tradicional de forma presencial, por lo que no se contaba con las herramientas necesarias, para las necesidades que se presentaron durante ella, como el aprendizaje a distancia, con ello se elaboraron nuevas prácticas con los mismos temas de cada una de las prácticas del manual que se ha utilizado en los últimos años, para las asignaturas de los laboratorios de Cinemática y Dinámica, Física II, Mecánica Clásica de las carreras de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Ingeniería en Telecomunicaciones, Sistemas y Electrónica, Ing. Industrial, Ing. Agrícola, Tecnología y Química Industrial.

El objetivo de la práctica es analizar el comportamiento de los parámetros de movimiento posición, velocidad y aceleración de una partícula en cada uno de los pasos de su trayectoria que describe en un movimiento de tiro parabólico de una partícula, además de obtener las gráficas y ecuaciones paramétricas experimentales y los alcances máximos en base a la ecuación de su trayectoria $y(x)$ utilizando el software de análisis de video Tracker [1] y un video de un cuerpo que es lanzado al aire el cual va describiendo el movimiento mencionado.

Al analizar los resultados obtenidos experimentalmente muestran que el comportamiento de los parámetros de movimiento de una partícula que describe una trayectoria parabólica, son equivalentes a los teóricos, de forma indirecta y mediante la pendiente de la gráfica velocidad-tiempo se obtiene el valor de la aceleración de la gravedad la cual es cercano al valor estándar de ella. Los alcances máximos medidos y calculados también muestran valores similares, con porcentajes de error bajos, los cálculos obtenidos teóricamente respaldan al experimento ya que el comportamiento de ellos se da en forma similar.

ABSTRACT

In 2019, the COVID 19 pandemic showed multiple difficulties in teaching-learning in the experimental laboratories of the Physics department of the FESC, which handles traditional teaching in person, so the necessary tools were not available for the needs. that

were presented during it, such as distance learning, with this new practices were developed with the same topics of each one of the practices of the manual that has been used in recent years, for the subjects of the Kinematics and Dynamics laboratories, Physics II, Classical Mechanics from Electrical Mechanical Engineering, Telecommunications Engineering, Systems and Electronics, Industrial Engineering, Agricultural Engineering, Technology and Industrial Chemistry.

The objective of the practice is to analyze the behavior of the movement parameters position, velocity and acceleration of a particle in each one of the steps of its trajectory that it describes in a parabolic shooting movement of a particle, in addition to obtaining the graphs and equations experimental parametric measurements and the maximum ranges based on the equation of its trajectory $y(x)$ using the Tracker video analysis software [1] and a video of a body that is thrown into the air which describes the mentioned movement. The results obtained experimentally were analyzed and show that the behavior of the movement parameters of a particle that describes a parabolic trajectory. The results are equivalent to the theoretical ones, indirectly and through the slope of the velocity-time graph, the value is obtained of the acceleration of gravity which is close to the standard value of it. The maximum measured and calculated ranges also show similar values, with low error percentages. The theoretically obtained calculations support the experiment since their behavior occurs in a similar way.

Palabras claves: Movimiento curvilíneo, tiro parabólico, alcance máximo, ecuación de trayectoria.

INTRODUCCIÓN

El movimiento curvilíneo como lo menciona Hibbeler (2012) [2] ocurre cuando una partícula se desplaza a lo largo de una trayectoria curva, para el caso particular de un movimiento de tiro parabólico el análisis se da normalmente en función de sus componentes rectangulares considere que el proyectil es lanzado al aire y que no existe resistencia de este, es lanzado con una velocidad inicial y a un ángulo de disparo y que parte desde una posición inicial (x_0, y_0) Figura 1.

Analizando el movimiento con estas consideraciones, la única fuerza que actúa en él es su propio peso por lo que el valor de la

* UNAM. FES Cuautitlán, Departamento de Física, 1 Mtro.
roberto_reyes_a@hotmail.com, 2 Mtra. yesna_25@hotmail.com, 3 Ing.

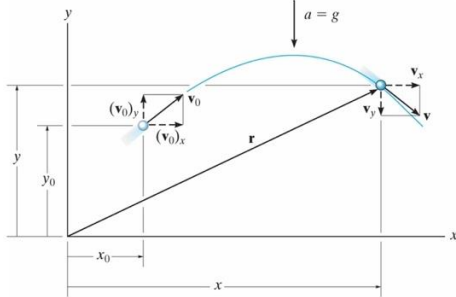
casanj@hotmail.com, 4 Ing. ing.jrcastro@gmail.com, 5 Est.
norma.hrdz.97@gmail.com, 6 Est. pablo.o.po608@gmail.com.



aceleración será el de la gravedad 9.81 m/s^2 en el Sistema Internacional o 32.2 ft/s^2 en el sistema inglés en dirección vertical hacia abajo, con esta aceleración podemos obtener las componentes de los parámetros de velocidad y posición en el eje horizontal "x"

Figura 1

Trayectoria de una partícula en movimiento de tiro parabólico



Nota: Reproducida de Ingeniería Mecánica - Dinámica (p. 39), por Russell C. Hibbeler, 2010, Pearson Educación.

Considerando que la componente de la aceleración $a_x = 0$

$$v_x = (v_0)_x \quad (1)$$

$$x = x_0 + (v_0)_x t \quad (2)$$

Para el caso de las componentes de los parámetros de velocidad y posición en el eje vertical "y", considerando que $a_y = -g$

$$v_y = (v_0)_y - gt \quad (3)$$

$$y = y_0 + (v_0)_y t - \frac{1}{2}gt^2 \quad (4)$$

$$v_y^2 = (v_0)_y^2 - 2g(y - y_0) \quad (5)$$

Cálculo del tiempo para la altura máxima. Considerando que en la altura máxima la componente vertical de la velocidad $v_y = 0$ y sustituyendo esta condición en la ecuación (3), se tiene:

$$0 = (v_0)_y - gt$$

Entonces el tiempo en el que se alcanza la altura máxima es:

$$t = \frac{(v_0)_y}{g} \quad (6)$$

Cálculo de la altura máxima. Considerando el tiempo en el que se alcanza la altura máxima de la ecuación (6) y sustituyéndolo en la ecuación (4), se tiene:

$$y_{max} = y_0 + (v_0)_y \left[\frac{(v_0)_y}{g} \right] - \frac{1}{2}g \left[\frac{(v_0)_y}{g} \right]^2$$

por tanto, la altura máxima es:

$$y_{max} = y_0 + \frac{1}{2} \left[\frac{(v_0)_y^2}{g} \right] \quad (7)$$

Cálculo del alcance máximo horizontal. Considerando que el cuerpo alcanza su máximo horizontal cuando pasa por el nivel de donde se disparó, el tiempo que debe transcurrir para que esto ocurra debe ser dos veces el tiempo ecuación (6) en el que se alcanza la

altura máxima, $2t = 2 \frac{(v_0)_y}{g}$ sustituyendo en la ecuación (2), se tiene:

$$x_{max} = x_0 + (v_0)_x \left[2 \frac{(v_0)_y}{g} \right]$$

Sabiendo que las componentes horizontal y vertical de la velocidad inicial son $(v_0)_x = v_0 \cos \theta$ y $(v_0)_y = v_0 \sin \theta$ y sustituyendo en la ecuación anterior, se tiene que el alcance máximo horizontal es:

$$x_{max} = x_0 + \frac{v_0 \cos \theta * 2v_0 \sin \theta}{g}$$

$$x_{max} = x_0 + \frac{2v_0^2}{g} (\cos \theta * \sin \theta) \quad (8)$$

Usando la identidad trigonométrica de $\cos \theta * \sin \theta = \frac{1}{2} [\sin(\theta + \theta) + \sin(\theta - \theta)]$ se tiene:

$$x_{max} = x_0 + \frac{2v_0^2}{g} \frac{1}{2} [\sin(2\theta) + \sin(0)] \quad (9)$$

Por tanto, el alcance máximo horizontal es:

$$x_{max} = x_0 + \frac{v_0^2}{g} \sin(2\theta) \quad (10)$$

Para cualquier velocidad inicial v_0 , el mayor alcance horizontal se encuentra cuando el ángulo de disparo es: $\theta = 45^\circ$.

Ecuación de la trayectoria. Tomando las siguientes consideraciones

1. La posición inicial horizontal y vertical son $x_0 = 0$, $y_0 = 0$
2. El tiempo es igual a $t = \left(\frac{x}{(v_0)_x} \right)$
3. Las componente horizontal y vertical de la velocidad inicial son $(v_0)_x = v_0 \cos \theta$ y $(v_0)_y = v_0 \sin \theta$ y sustituyendo lo anterior en la ecuación (4) se tiene:

$$y = v_0 \sin \theta \left(\frac{x}{v_0 \cos \theta} \right) - \frac{1}{2}g \left(\frac{x}{v_0 \cos \theta} \right)^2$$

La ecuación de la trayectoria es:

$$y = (\tan \theta)x - \frac{1}{2} \left(\frac{g}{v_0^2 \cos^2 \theta} \right) x^2 \quad (11)$$

$$y = C + Bx - Ax^2$$

ANTECEDENTES

Garzón, G. P. A. R. y colaboradores [3] demostraron en su estudio la importancia del uso de software de vídeo Tracker para analizar movimientos parabólicos. Donde, primeramente, se explica en clase la cinemática del movimiento parabólico, como segundo paso, los estudiantes construyen una catapulta y se familiarizan con la interfaz del software de vídeo Tracker a través de sus herramientas. Se hallaron las ecuaciones de movimiento de alcance máximo (x_f), altura máxima (y_f) y tiempo de vuelo (t_v), variando el ángulo a 15° , 30° , 45° , 60° y 75° . Finalmente, se cotejaron los cálculos teóricos con los datos experimentales de (x_f), (y_f) y (t_v), encontraron errores de $\sim 0.67\%$, $\sim 3.9\%$ y $\sim 0.12\%$,



respectivamente. Durante este proceso, se enfatizó la importancia de realizar la primera etapa antes de usar el software de vídeo Tracker. Por otro lado, Mondragón Sánchez, J. A. y colaboradores [4] propusieron la caracterización de la cinemática de un objeto en movimiento en dos o tres dimensiones mediante la grabación de un vídeo de un cuerpo en movimiento para digitalizar su trayectoria a través del software de análisis de vídeo Tracker; ya que se permite la obtención de los parámetros de aceleración, posición y velocidad, así como de diferentes gráficas, además de poder ajustar las curvas utilizando modelos empíricos simples o complejos a través del software de análisis de vídeo Tracker. Se expusieron las principales funciones del software de análisis de vídeo Tracker, además de ilustrar su uso mostrando el tiro parabólico.

La experimentación del tema de *cinemática del cuerpo rígido* en las diferentes asignaturas que da servicio el departamento de Física de la FES-Cuautitlán, no se contaba con alguna práctica para impartir a distancia.

DESARROLLO DEL TEMA

El comportamiento experimental de los parámetros de movimiento de la partícula que describe un movimiento de tiro parabólico se llevó a cabo mediante el software de análisis de vídeo Tracker y un vídeo del movimiento mencionado de una partícula en donde se midió los parámetros de posición, velocidad y aceleración, así como la obtención de las gráficas de movimiento y ecuaciones representativas.

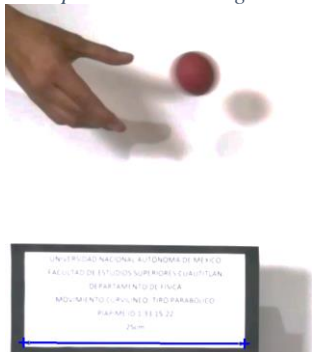
1. Elaboración de vídeo

Los criterios para elaborar el vídeo fueron: (Figura 2).

- Iluminación adecuada
- Uso de tripie para equipo de grabación previamente nivelado.
- Calidad de grabación (60 fps).
- Contraste de colores entre el objeto en movimiento y el fondo.

Figura 2

Captura de pantalla de vídeo grabado y usado para la práctica



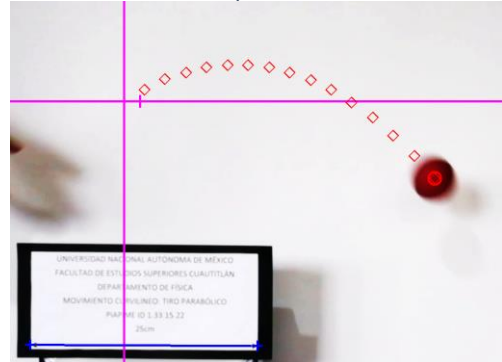
2. Rastreo de la pelota en el Tracker

Una vez elaborado el vídeo se procedió a la configuración del software Tracker mediante el siguiente procedimiento (Figura 3).

- Ajuste de corte de vídeo.
- Ajuste en la vara de calibración
- Ubicación de los ejes coordenados.
- Generar masa puntal.
- Establecer plantilla para rastreo.
- Obtener rastreo del movimiento de la pelota.

Figura 3

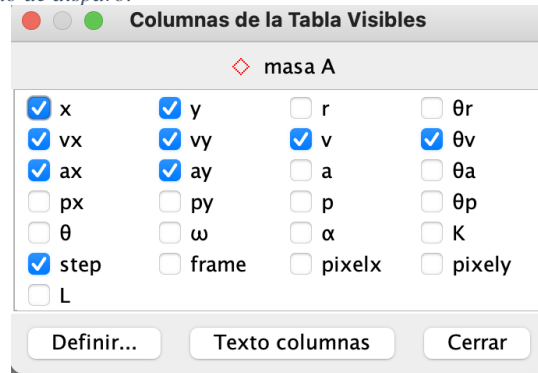
Rastreo del movimiento de tiro parabólico



- Selección de los parámetros posición, velocidad y aceleración (Figura 4).

Figura 4

Selección de parámetros posición, velocidad y aceleración y ángulo de disparo.



- Medición de las componentes horizontales y verticales experimentales de la posición, velocidad y aceleración, desde el software Tracker, como se muestra en la Tabla 1 y 2.
- Obtención de las gráficas paramétricas experimentales (t, x) , (t, v_x) , (t, a_x) , (t, y) , (t, v_y) y (t, a_y) . desde el software Tracker.
- Obtención de las ecuaciones experimentales representativas de cada gráfica, desde el software Tracker. Ecuaciones de la 12 a la 17.



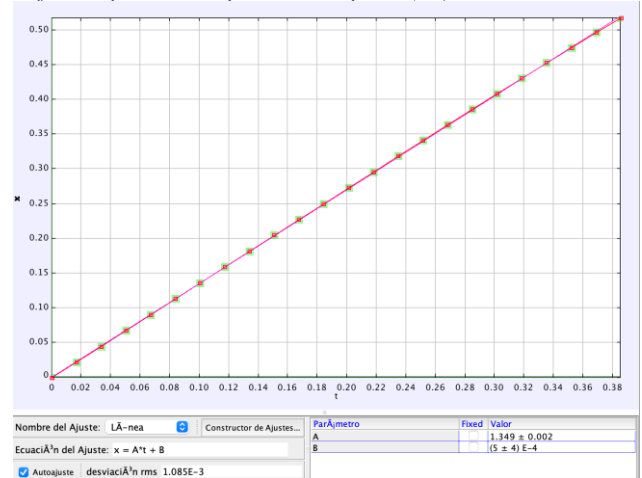
Tabla 1. Componentes horizontales experimentales de posición, velocidad y aceleración

Step	Posición x (m)	Velocidad v_x (m/s)	Aceleración a_x (m/s^2)
1	0.022	1.329	-
2	0.045	1.356	0.930
3	0.068	1.366	0.569
4	0.090	1.358	-0.108
5	0.113	1.364	-0.027
6	0.136	1.369	-0.034
7	0.159	1.364	0.075
8	0.182	1.358	0.028
9	0.205	1.365	-0.480
10	0.228	1.356	-0.281
11	0.250	1.349	0.225
12	0.273	1.358	0.496
13	0.296	1.364	-0.541
14	0.319	1.354	-0.285
15	0.341	1.347	-0.313
16	0.364	1.341	-0.320
17	0.386	1.330	-0.582
18	0.408	1.336	-0.010
19	0.431	1.329	-0.582
20	0.453	1.306	-0.884

Gráficas y ecuaciones de las componentes horizontales

Figura 5

Gráfica de posición respecto al tiempo en (t, x)

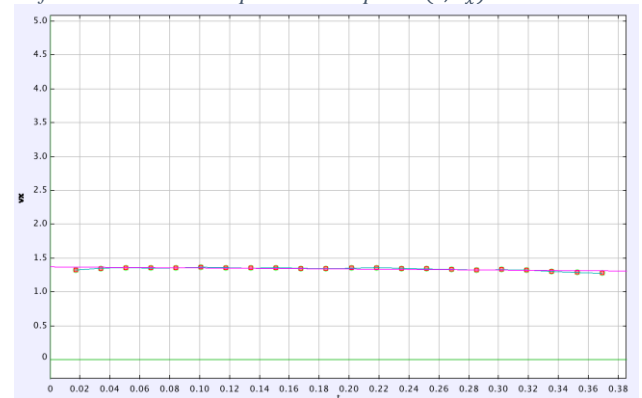


De acuerdo con la pendiente de la gráfica de la figura 5 (t, x) , la componente de la posición en x es:

$$x = 1.349 t \quad (12)$$

Figura 6

Gráfica de velocidad respecto al tiempo en (t, v_x)



En relación con la pendiente de la gráfica de la figura 6 (t, v_x) , la componente de la velocidad en x es:

$$v_x = 0.137 \quad (13)$$

sd

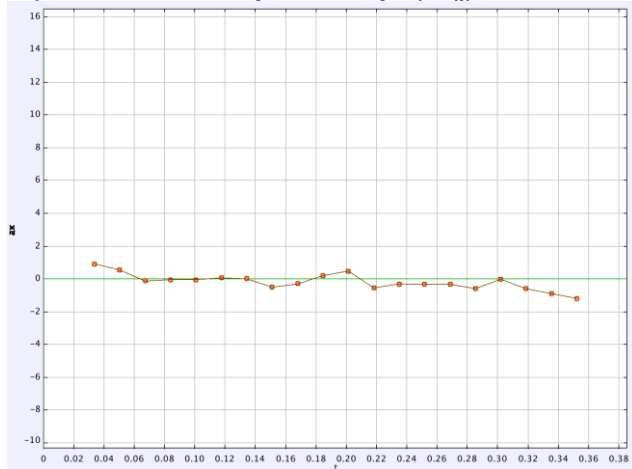
Tabla 2. Componentes verticales experimentales de posición, velocidad y aceleración

Step	Posición y (m)	Velocidad v_y (m/s)	Aceleración a_y (m/s^2)
1	0.013	0.733	-
2	0.025	0.564	-9.517
3	0.032	0.403	-9.817
4	0.038	0.244	-9.576
5	0.041	0.072	-10.101
6	0.040	-0.088	-9.325
7	0.038	-0.245	-9.551
8	0.032	-0.401	-9.825
9	0.024	-0.577	-10.419
10	0.013	-0.755	-9.862
11	-0.001	-0.910	-9.561
12	-0.018	-1.063	-9.819
13	-0.037	-1.242	-10.417
14	-0.059	-1.423	-9.840
15	-0.084	-1.575	-9.534
16	-0.112	-1.724	-9.247
17	-0.143	-1.890	-9.551
18	-0.175	-2.057	-9.271
19	-0.211	-2.205	-9.545
20	-0.249	-2.351	-9.818



Figura 7

Gráfica de aceleración respecto al tiempo (t, a_x)



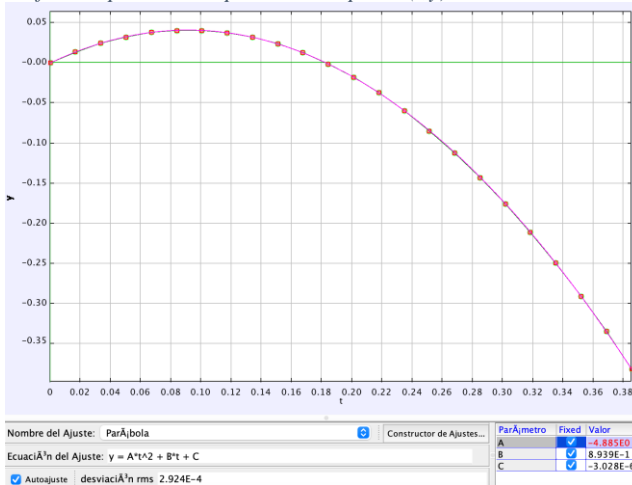
En función a la pendiente de la gráfica de la figura 7 (t, a_x), la componente de la velocidad en x es:

$$a_x = 0 \quad (14)$$

Gráficas y ecuaciones de las componentes verticales

Figura 8

Gráfica de posición respecto al tiempo en (t, y)

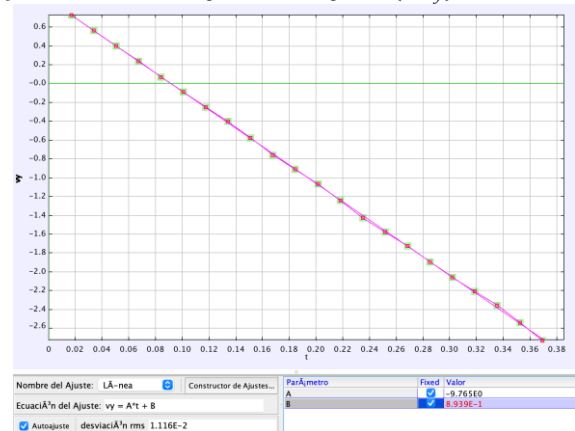


De acuerdo con la pendiente de la gráfica de la figura 8 (t, y), la componente de la velocidad en x es:

$$y = -4.885 t^2 + 0.894 t \quad (15)$$

Figura 9

Gráfica de velocidad respecto al tiempo en (t, v_y)

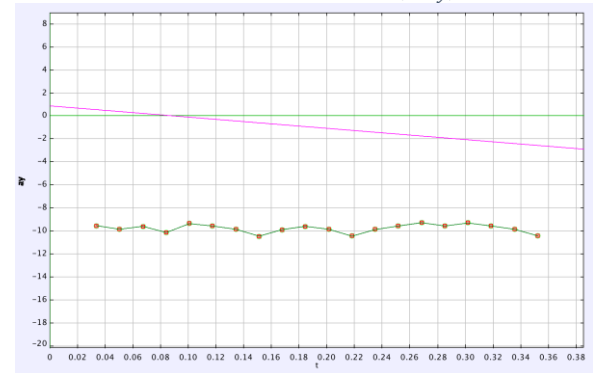


En relación con la pendiente de la gráfica de la figura 9 (t, v_y), la componente de la velocidad en x es:

$$v_y = -9.765 t + 0.893 \quad (16)$$

Figura 10

Gráfica de aceleración respecto al tiempo (t, a_y)



Acorde a la pendiente de la gráfica de la figura 10 (t, v_y), la componente de la aceleración en y es:

$$a_y = -9.765. \quad (17)$$

Alcances máximos horizontal y vertical

- k) Obtención de los parámetros $y_0, (v_0)_y, x_0, v_0, \theta$ desde las tablas de Tracker (Tabla 3).

Tabla 3. Parámetros para cálculos de alcances máximos y ecuación experimental

Posición inicial y_0 (m)	Posición inicial x_0 (m)	Velocidad inicial $(v_0)_y$ (m/s)	Velocidad inicial v_0 (m/s)	Angulo disparo θ (°)
0.013	0.022	0.733	1.517	28.9



- l) Obtención de los alcances máximos experimentales horizontal y vertical desde las tablas del Tracker.
- m) Cálculo de los alcances máximos teórico horizontal y vertical con las ecuaciones (7) y (10) (Tabla 4).
- n) Cálculo del porcentaje de error de los alcances máximos (Tabla 4).

Tabla 4. Alcances máximos experimental y teóricos y porcentaje de error

Alcance	Experimental	Teórico	Error (%)
Horizontal $x_{max} (m)$	0.228	0.221	1.5
Vertical $y_{max} (m)$	0.041	0.040	3.28

Ecuación y gráfica de trayectoria

- o) Obtención de la ecuación de trayectoria teórica mediante la ecuación (11) (Tablas 5 y 6).

$$y = (\tan \theta)x - \frac{1}{2} \left(\frac{g}{v_0^2 \cos^2 \theta} \right) x^2$$

$$y = C + Bx - Ax^2$$

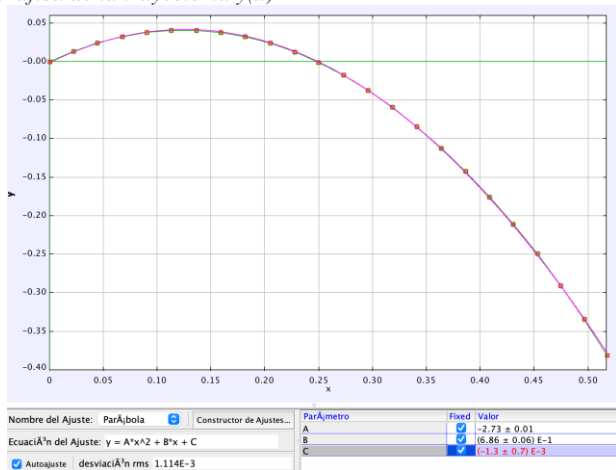
Tabla 5. Cálculo de los parámetros de la ecuación de trayectoria teórica

$B = (\tan \theta)$	$A = \frac{1}{2} \left(\frac{g}{v_0^2 \cos^2 \theta} \right)$
0.552	2.781

- p) Obtención de la gráfica experimental de la trayectoria desde el software Tracker.

Figura 11

Gráfica de la trayectoria $y(x)$



- q) Obtención de la ecuación de la trayectoria experimental $y(x)$ de la gráfica de la figura 11. (Tabla 6).

Tabla 6. Ecuación de trayectoria, teórica y experimental

Tipo	Ecuación
Teórica	$y = -2.781x^2 + 0.552x$
Experimental	$y = -2.730x^2 + 0.686x$

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Componentes horizontales

Los resultados obtenidos las componentes horizontales de los parámetros de movimientos de una partícula que se mueve en forma curvilínea tipo tiro parabólico muestran que para el caso de la aceleración como lo muestra la gráfica de la Figura 7 oscila en alrededor de cero, por lo que se cumple con lo establecido en la teoría de que la componente es cero. En cuanto a la componente de la velocidad la tabla 1 muestra que el valor oscila entre una magnitud de 1.31 m/s y 1.38 m/s, obteniéndola por la pendiente de la gráfica (t,x) el valor es de 1.349 m/s por lo que se cumple con lo establecido en la teoría de que debe ser un valor constante, gráfica de la Figura 6. Para la componente de la posición como lo muestra la gráfica de la Figura 5, los valores aumentan constantemente de forma lineal, desde un valor de 0.022 m hasta 0.453 m (Tabla 1), cumpliendo con los establecido en la teoría.

Componentes verticales

Los resultados obtenidos para las componentes verticales de los parámetros de movimientos de una partícula que se mueve en forma curvilínea tipo tiro parabólico muestran que para el caso de la aceleración como se ve en la gráfica de la Figura 10 oscila entre 9.3 m/s² hasta 10.4 m/s² (Tabla 2) considerándola constante y cercana al valor de la gravedad. El valor de la aceleración obtenido por la pendiente de la gráfica (t, v_y) es de -9.78 m/s² por lo que se cumple con lo establecido en la teoría de que la magnitud de la componente es el valor de la gravedad. En cuanto a la componente de la velocidad la tabla 2 muestra que inicia con un valor máximo de 0.773 m/s y disminuye hasta un valor de cero cuando la partícula alcanza su altura máxima a partir de ahí empieza a aumentar negativamente como lo muestra la gráfica de la Figura 9 en forma constante hasta un valor de -2.351 m/s. Para la componente de la posición como lo muestra la gráfica de la Figura 5, los valores varían en forma parabólica, iniciando con un valor cercano a cero de 0.013 m, (Tabla 2) alcanzando su valor máximo positivo de 0.041 m y a partir de ahí moviéndose en sentido negativo, pasando por el nivel de cero y teniendo su máximo negativo de -0.249 m.

Ecuaciones paramétricas

En cuanto a las ecuaciones paramétricas obtenidas de las gráficas mencionadas, para el caso de las componentes horizontales las ecuaciones (12, 13 y 14), muestran que son acorde al comportamiento mencionado en la teoría, así mismo pasa con las ecuaciones de las componentes verticales, las ecuaciones (14, 15 y 16) cumplen con el comportamiento establecido en la teoría.





Alcance máximo horizontal y vertical

El valor obtenido del alcance máximo horizontal en forma experimental fue de 0.228 m mientras que el calculado fue de 0.221 m teniendo un porcentaje de error del 1.5% , en cuanto al alcance máximo vertical experimental el valor fue de 0.041 m mientras que el calculado fue de 0.040 m , teniendo un porcentaje de error del 3.28% .

Ecuación de la trayectoria

La ecuación obtenida de la trayectoria de la partícula en forma experimental es $y = -2.730x^2 + 0.686x$, comparando con la ecuación calculada la cual es $y = -2.781x^2 + 0.552x$ analizando cada una de los parametros de cada ecuación se observa que son muy similares en cada uno de ellos.

CONCLUSIONES

Una de las necesidades que tiene actualmente el Departamento de Física de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán es el bajo presupuesto que tiene anualmente lo que limita en la compra de equipo para ampliar el número de equipos que puede usarse en cada una de las brigadas que cuenta el laboratorio en las asignaturas de Cinemática y Dinámica, Física II y Mecánica Clásica, la presente practica junto con otras que se han desarrollada con el software de análisis de video Tracker permite que más alumnos puedan interactuar y tengan un mejor aprendizaje del tipo de movimiento que se está analizando en cada práctica, además de que como se comentó en el resumen, ésta fue desarrollada por las necesidades que se tuvieron durante la pandemia Covid 19 entre los meses de Marzo de 2020 hasta marzo de 2022, las cuales fueron de brindar prácticas que pudieran llevar a cabo los estudiantes y profesores a distancia, por lo que se pueden desarrollar en forma presencial, híbrida o a distancia, inclusive en asignaturas que no cuenta con laboratorio experimental.

Los resultados obtenidos demuestran que el análisis de movimiento de una partícula que se mueve en forma curvilínea tipo tiro parabólico se puede llevar a cabo con el software de análisis de video Tracker de forma efectiva ya que los datos obtenidos de las tablas, gráficas y ecuaciones de las componentes paramétricas de movimiento horizontal y vertical experimentales comparándolos con los teóricos muestran mínimas diferencias, con porcentaje de error bajos, el comportamiento de dicho movimiento es acorde a lo que nos marca la teoría con lo que los alumnos podrán comprobar el comportamiento del movimiento estudiado.

NOMENCLATURA

v_0 = Magnitud del vector de velocidad inicial (m/s)
 a_x = componente horizontal vector de aceleración (m/s^2)
 v_x = componente horizontal del vector de velocidad (m/s)
 x = componente horizontal del vector de posición (m)
 $(v_0)_x$ = componente horizontal vector velocidad inicial (m/s)
 x_0 = componente horizontal del vector posición inicial (m)
 a_y = componente vertical del vector de aceleración (m/s^2)
 v_y = componente vertical del vector de velocidad (m/s)
 y = componente vertical del vector de posición (m)
 $(v_0)_y$ = componente vertical del vector velocidad inicial (m/s)

y_0 = componente vertical del vector de posición inicial (m)
 g = aceleración de la gravedad (m/s^2)
 t = tiempo (seg)
 θ = ángulo de disparo ($^\circ$)
 x_{max} = alcance máximo horizontal (m)
 y_{max} = alcance máximo vertical (m)

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- [1] Brown D., Christian W. y Hanson R. M., *Software Tracker Video Analysis and Modeling Tool* (2023), <https://physlets.org/tracker/>
- [2] Hibbeler, R. C., *Mecánica Vectorial para Ingenieros. Dinámica*, 2010, 12ª edición, pp. 32 – 39
- [3] Garzón, G. P. A. R., & Villate, M. A. M. (2022). Cálculo de las ecuaciones del movimiento parabólico usando Tracker. *Revista Educación En Ingeniería*, 17(33), 45–51. Retrieved from <https://educacioneningenieria.org/index.php/edi/article/view/1183>
- [4] Mondragón, S. J. A. (2018) Tracker: Una herramienta para el análisis y modelado del movimiento de objetos en el laboratorio de dinámica. Universidad Iberoamericana de Puebla. Repositorio Institucional. <https://repositorio.iberopuebla.mx/handle/20.500.11777/3822>

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Roberto Reyes Arce: Ingeniero Mecánica Electricista de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM, Maestro en Educación de la Universidad del Valle de México

Yesenia Sánchez Fuentes: Ingeniera Mecánica Electricista de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM, Maestra en Ciencias en Ingeniería Metalúrgica de la Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas, del Instituto Politécnico Nacional

José Castillo Sánchez: Ingeniero Mecánico Electricista de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM

Juan Rogelio Castro Sánchez: Ingeniero Mecánico Electricista de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM

Norma Daniela Hernández Rodríguez: Estudiante de la carrera Ingeniería Industrial de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM

Pablo Osnaya Osnaya: Estudiante de la carrera Ingeniería Industrial de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM



Formas cualitativa y cuantitativa de detectar carga eléctrica, para el desarrollo de prácticas de electrostática

Ramón Osorio Galicia, Cesar Rueda Angeles, Pedro Guzmán Tinajero, Angel Rueda Angeles, Natalia Ochoa Márquez

RESUMEN

En el estudio de las carreras de Ingeniería es muy importante conocer la parte cualitativa y la cuantitativa de los fenómenos que se analizan. En las diferentes carreras de Ingeniería que se ofrecen en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, la asignatura de Electromagnetismo aparece como una materia en ciencias básicas. En específico se trata el tema de carga eléctrica, hasta hace algunos años no se tenían equipos para su medición y solamente se mostraban efectos cualitativos, dando como resultados que el alumno no se familiarizara con las magnitudes y se llevaban la idea de que cuando veían o sentían una descarga eléctrica, era una carga con gran magnitud, aunque en la teoría se especificaba que eran cargas pequeñas alrededor de las micros, nanos o picos coulomb. En la práctica actual de carga eléctrica al alumno se le enseña cómo utilizar los diferentes electroscopios con lo que pueden comprobar cualitativamente la existencia de carga eléctrica y apoyándose con la tabla triboeléctrica el signo de la carga. La adquisición de la interfaz ha permitido realizar un experimento cuantitativo en donde el alumno puede conocer el valor de la carga y el signo de esta. Es importante que el alumno conozca la magnitud y el signo para que más adelante la relacione con la Intensidad de Corriente Eléctrica.

ABSTRACT

In the study of Engineering careers it is important to know the qualitative and the quantity part of the phenomena that are analyzed. In the different Engineering careers offered at Facultad de Estudios Superiores Cuautitlan, the electromagnetism subject appears as a basic sciences subject. Specifically, the issue is about electric charge, until a few years ago there were no equipment for its measurement and only qualitative effects were shown, this causes the student do not get familiar with the magnitudes, and they got the idea that what they saw or felt an electric charge, it was a charge with a huge

magnitude, although in the theory specified when it is a low charge it is measure with μC , nC , pC .

In the current Electric Charge's practice, the student is taught how to use the different electroscopes which they can quantitatively verify the existence of electric charge and supporting the sign with the Triboelectric table. The acquisition of the interface has allowed to carry out a quantitative experiment where the student can know the value of the charge and its sign. It is important that the student knows the magnitude and the sign so that he can later relate it to the Electric Current Intensity.

Palabras claves: Carga, interfaz, sensor, electroestática.

INTRODUCCIÓN

En las carreras de ingeniería las asignaturas de ciencia básica son fundamentales como materias propedéuticas para las asignaturas de ciencia de la ingeniería e ingeniería aplicada. En la mayoría de los programas de estudio de las ingenierías se incluyen la asignatura de Electromagnetismo, materia teórico- práctica

Para su estudio el electromagnetismo se divide en electricidad y magnetismo.

La electricidad se divide a su vez en electrostática y electrodinámica. Electroestática se refiere al estudio de las cargas considerando éstas en reposo. Las cargas eléctricas elementales más estables (electrones y protones) tienen magnitudes muy pequeñas por lo que medirlas es complicado, la magnitud de la carga elemental es de $1.60217653 \times 10^{-19} \text{ C}$ (Sears-Zemansky, 718, 2020). Los alumnos resuelven problemas dando por hecho valores de carga que no son entendibles, pero si pueden observar sus efectos macroscópicos; como la atracción o repulsión entre objetos, la inducción eléctrica que se logra con el cabello cuando se acerca a un cuerpo cargado, entre otras muchas aplicaciones. Siendo importante medir la magnitud y el signo de la carga por medio de un medidor, para que el fenómeno no quede nada más en la parte cualitativa y se vuelva un fenómeno tangible.

* UNAM, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Departamento de Física, Dr. Ramón Osorio Galicia rosoriog@unam.mx, Ing. Cesar Rueda Angeles ruedaa@comunidad.unam.mx, Dr. Pedro Guzmán Tinajero pguzmant@cuautitlan.unam.mx, Ing. Angel Rueda Angeles raa_rueda@comunidad.unam.mx, Natalia Ochoa Márquez natmuller98@gmail.com



DESARROLLO

En la actualidad en el departamento de Física de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, se ofrece para las diferentes carreras de Ingeniería la asignatura de Electricidad y Magnetismo (electromagnetismo), materia teórico-práctica.

En la parte experimental se cuenta con un manual de 10 prácticas que cubren los temas principales que marca el temario de la asignatura. Dentro del manual se contempla la práctica de carga eléctrica.

Hace algunos años, se utilizaba frotar la seda y el vidrio que servía como patrón para detectar el signo de la carga, en donde el vidrio adquiriría carga positiva y la seda carga negativa y así se podía conocer el signo de la carga a través de su efecto de repulsión o atracción.

Posteriormente se utilizó el detector de carga llamado electroscopio de láminas figura 1. Nos indica que existe carga, pero no la magnitud ni el signo, ya que es indiferente al tipo de carga de que se trate, al transmitir o inducir carga a las láminas estas se van a separar.



Figura 1. Electroscopio de Láminas

También se empleaban un electroscopio de aguja figura 2, al acercar o tocar la parte superior con un cuerpo previamente cargado, se distribuye la carga entre el cuerpo y la aguja y hace que se separen. De igual forma que el electroscopio de laminas nos indica la existencia de carga, pero no el tipo de carga ni su magnitud.



Figura 2. Electroscopio de punta

Actualmente se cuenta con una tabla triboeléctrica figura 3, la cual nos indica el signo de la carga que adquiere un elemento al frotarlo con otro elemento diferente, por ejemplo, al frotar un paño de seda con un tubo de PVC; utilizando la tabla podemos concluir que la seda adquiere una carga positiva y el tubo de PVC una carga negativa. Lo que complementa al uso de los electroscopios.

Aire
Piel (seca)
Piel de conejo
Vidrio
Cabello humano
Mica
Nylon
Lana
Piel de gato
Plomo
Seda
Aluminio
Papel
Algodón
Acero
Madera
Lucita
Ámbar
Globo de goma
Caucho duro
Níquel
Cobre
Plata
Oro, platino
Poliéster
Poliestireno
Acrílico
Envoltura de plástico
Poliuretano
Polietileno
Polipropileno
PVC
Teflón
Hule o caucho de silicón

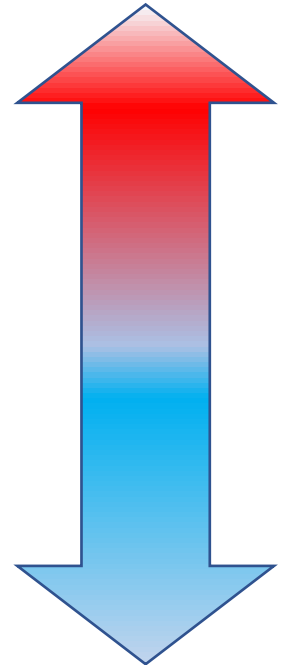


Figura 3. Tabla triboeléctrica



El electroscopio electrónico es un dispositivo formado por un bulbo (válvula electrónica) o por transistor para detectar el signo de la carga figura 4, se transmite la carga o se induce y el dispositivo encenderá de un diodo emisor de luz (LED), si se enciende el LED verde era positiva la carga y si enciende el rojo era carga negativa.

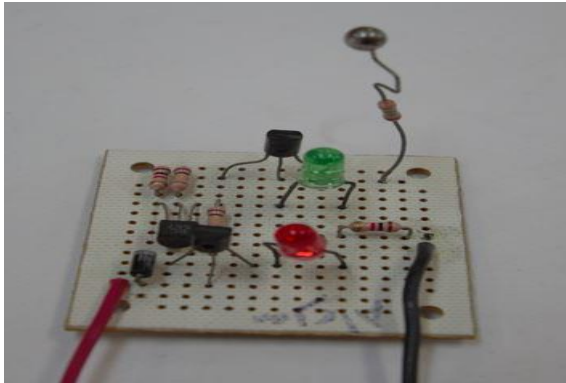


Figura 4. Electroscopio electrónico

Actualmente se utiliza un electrómetro marca Pasco figura 5, que a partir de un capacitor cilíndrico y un galvanómetro se puede obtener la magnitud de la carga y dependiendo la dirección del desplazamiento del fiel se obtiene el signo.



Figura 5. Electrómetro Pasco cambiar

También se mide la carga eléctrica, utilizando un sistema conformado por una interfaz Pasco, sensor de carga, jaula de Faraday y software Casptone figura 6. Se basa en el principio de la relación para capacitores ecuación 1.

$$C = q/V \quad (1)$$



figura 6. Medición de carga eléctrica por medio de Interfaz y sensor.

Se introduce el cuerpo cargado dentro de los cilindros y a partir de un medidor digital se obtiene la magnitud de la carga y el signo.

RESULTADOS

Para la utilización del electroscopio de láminas, se frota piel de conejo con un tubo de PVC y se acerca al electroscopio de láminas, como se muestra en la figura 7. Se observa como las laminas se separan indicando que existe una carga eléctrica. Por medio de la tabla triboeléctrica figura 3, obtenemos el signo de la carga.

Piel de conejo se cargó “Positivamente”
Barra de PVC se cargó “Negativamente”



Figura 7. Detección de carga con el electroscopio de láminas.

Para la utilización del electroscopio de punta figura 8, se frota la barra de PVC con piel de conejo al acercar la barra de PVC al detector de carga se separa la guja indicando la existencia de carga. Apoyándose en la tabla triboeléctrica obtenemos:



Piel de conejo: Se cargó “positivamente”
Barra de PVC: Se cargó “negativamente”



Figura 8. Electroscopio de punta

Para la utilización del electroscopio electrónico figura 9, se frota la barra de vidrio con piel de conejo al acercar la barra de vidrio al detector de carga, el Led rojo encendió, lo que indica la existencia de carga eléctrica negativa y que la carga en la piel de conejo es positiva.

Piel de conejo: Se cargó “positivamente”
Barra de vidrio: Se cargó “negativamente”

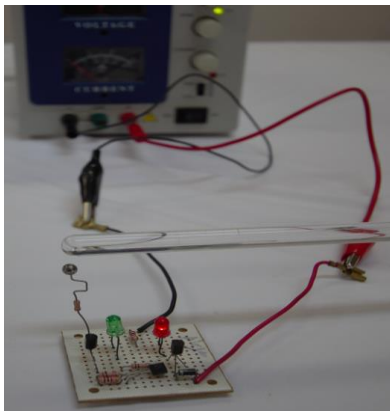


Figura 9. Detección de carga con Electroscopio electrónico.

Para detectar y medir la carga utilizamos el electrómetro de Pasco y una jaula de Faraday figura 10. Se frota una barra de lucita y piel de conejo, se introduce la barra de lucita y el electrómetro marca en la caratula un voltaje. Para el signo se

observa el desplazamiento del fiel. Para este caso se desplazó hacia la izquierda indicando que la carga de la barra de lucita es negativa.



Figura 10. Electrómetro Pasco

Para obtener el valor de la carga se utiliza la ecuación 2.

$$q=V*1.60217653 \times 10^{-19} \quad (2)$$

Para este caso el voltaje medido $V=3$

$$q=4.80652959 \times 10^{-19} \text{ C}$$

Actualmente para conocer la carga y el signo de un cuerpo cargado, se utiliza la Interfaz con el software Capstone juntamente con un sensor de carga y una jaula de Faraday figura 11. Se carga un cuerpo por cualquier método y se introduce el cuerpo en la jaula de Faraday, El resultado se puede mostrar a través de un medidor digital, analógico, tabla o gráfica.

Para este caso se froto la barra PVC y cabello humano, se introdujo la barra de vidrio y se obtuvo el valor figura 11.

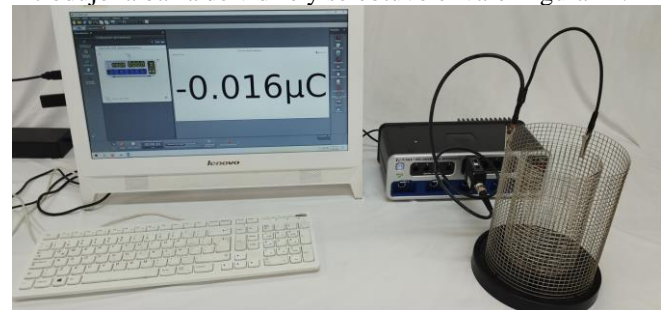


Figura 11. Detección de carga por medio de interfaz.



NOMENCLATURA

C = Capacitancia.

q = Carga eléctrica.

V = Diferencia de potencial.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

1. Serway, Raymond A. y Jewett. John W. (2019). *Física para ciencias e ingeniería 2*, Décima edición. CENGAGE, México.
2. Sears, Zemansky (2018) *Física Universitaria Volumen 2*, Décima segunda edición. Addison – Wesley.
3. PASCO. (2019). Sensor. Noviembre 20, 2019, de PASCO Sitio web:
<https://www.pasco.com/products/sensors>
4. PASCO. (2019). PASCO Capstone Download. noviembre 20, 2019, de PASCO Sitio web:
<https://www.pasco.com/downloads/capstone>.
5. PASCO. (2019). 850 Universal Interface. noviembre 20, 2019, de PASCO Sitio web:
<https://www.pasco.com/products/interfaces-and-dataloggers/UI-5000>.
6. sergiotecnoedu. (2012). DataStudio de Pasco: ¿cómo usar este software por primera vez? febrero 19, 2020, de Youtube Sitio web:
<https://youtu.be/1XWZSEs8Lt8>

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Ramón Osorio Galicia: Ingeniero Mecánico Electricista, egresado de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM
Maestro en Ingeniería Metal Mecánica egresado de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM
Doctorado en Educación egresado de la Universidad de Cuautitlán Izcalli.

Rueda Angeles Ángel: Ingeniero Mecánico Electricista, egresado de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM.

Rueda Angeles César: Ingeniero Mecánico Electricista, egresado de la Facultad de Ingeniería UNAM.

Guzmán Tinajero Pedro: Ingeniero Mecánico Electricista egresado de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán UNAM.
Maestría en Administración Industrial egresado de la UNAM.
Doctorado en gestión Tecnológica e Innovación egresado de la Universidad Autónoma de Querétaro.

Natalia Ochoa Márquez, Estudiante de Ingeniería en Telecomunicaciones, Sistemas y Electrónica.
FES Cuautitlán, Octavo semestre.





EI-01.

Evaluación de resultados entre el método numérico y el trabajo analítico en vigas isostáticas a flexión

Carlos Elias Miguel Ruiz*, **Guillermo Urriolagoitia Sosa****, **Jacobo Martínez Reyes*****, **Beatriz Romero Ángeles******, **Rolando Manuel Jose*******, **Rodrigo García García*******, **David Esaú Carbajal López*******.

RESUMEN

Las vigas son elementos estructurales indispensables en la Ingeniería. Estos elementos, junto con las columnas, soportan todas las cargas externas de la estructura, y a su vez, deben de ser capaces de sostener su propio peso. Las cargas que soportan las vigas son transversales, es decir, perpendiculares a su eje largo, generando flexión. Por tal motivo, al analizarlas deben de ser capaces de soportar esfuerzos tanto de tensión como de compresión, Beer (2015). En este artículo, se exponen los resultados numéricos y analíticos obtenidos en la solución de vigas isostáticas sometidas a flexión, para obtener el campo de desplazamientos y deformaciones unitarias que presentan, facilitando a los lectores la manera de determinar los puntos característicos de una viga y simplificar el trabajo. Para obtener los resultados se hará uso de métodos numéricos computacionales para su solución y se realizará la comparación de resultados con trabajo analítico. Las variables que se van a comparar son las deformaciones unitarias de la viga, esfuerzos provocados por flexión, diagramas de fuerzas cortantes, reacciones en los apoyos y la flecha máxima.

ABSTRACT

Beams are essential structural elements in Engineering. These elements, along with columns, support all the external loads of the structure and, at the same time, must be able to sustain their weight. The loads supported by beams are transverse, meaning they are perpendicular to their long axis, resulting in bending. For this reason, when analyzing beams, they must be able to withstand both tension and compression stress.

In this article, the numerical and analytical results obtained in the solution of isostatic beams subjected to bending are presented. These results provide information about the displacement field and

strain that beams exhibit. This information helps readers identify the characteristic points of a beam and simplifies the analysis process. Computational numerical methods are used to obtain these results, and a comparison with analytical work is performed. The variables that will be compared include strains of the beam, stresses, shear diagrams, support reactions, and maximum deflection.

Palabras claves: Viga, Elemento finito, Diseño, Esfuerzos.

INTRODUCCION.

Los elementos delgados que soportan cargas aplicadas en forma perpendicular a su eje longitudinal se denominan vigas. Estos elementos son clasificados según la forma en la que están apoyadas, por ejemplo, viga simplemente apoyada o viga en voladizo, Hibbeler (2011).

Asimismo, el análisis de las vigas se divide en dos: vigas isostáticas y vigas hiperestáticas, esto según las condiciones de los apoyos que presente el elemento a analizar, es decir, si la viga cuenta con un número igual o inferior a tres incógnitas en las reacciones de los apoyos, con tan solo utilizar las condiciones de equilibrio estático será necesario, por el contrario, si tiene más de tres incógnitas se tendrá que hacer uso de nuevas expresiones, Heyman (2002).

Por otro lado, gracias a la evolución de la tecnología, ha permitido desarrollar programas computacionales que nos permiten realizar análisis de varios dispositivos o elementos estructurales (para este trabajo vigas). Estos programas nos permiten obtener una aproximación de resultados y predecir el comportamiento del elemento.

En este trabajo se pretende contrastar los resultados obtenidos de un trabajo analítico y un análisis numérico realizado en el programa computacional de Ansys APDL versión estudiantil.

ANTECEDENTES.

El análisis estructural, conseguido de forma empírica, ha tenido gran influencia para el desarrollo de diversas técnicas de construcción, aun cuando su compresión en la época de las civilizaciones antiguas no era el mejor, ya que el progreso en

Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Sección de Estudios de Posgrados e Investigación unidad Zacatenco.

cmiguelr1800@alumno.ipn.mx*

guiurri@hotmail.com**

jmartinezr0617@ipn.mx***

bromeroa@ipn.mx****

rmanuelj1800@alumno.ipn.mx*****

rgarciag1801@alumno.ipn.mx***** esaucarba99@gmail.com*****





teorías y formulas se han llevado a cabo en el último par de siglos, pero sin la evolución e interpretación que comenzó a generarse desde hace miles de años atrás, no se tendrían los conocimientos que se tienen en la actualidad. Todos los saberes empíricos que fueron desarrollando diversas civilizaciones permitieron la construcción de enormes miembros estructurales, como lo fueron las pirámides, templos ceremoniales, puentes, entre otros, Nelson (2006).

El inicio del método científico se le puede retribuir a Aristóteles (384-322 A.C.), quien estudio las relaciones de causa-efecto empleando el razonamiento deductivo. De esta manera, determino algunas de las características que implicaría la física, como magnitud, movimiento y tiempo. Introduciendo el análisis de los hechos como inicio del método experimental, Álvarez (2016). Posteriormente a Leonardo da Vinci (1452-1519), quien tuvo grandes aportaciones en distintas ramas de la ciencia, una de ellas la arquitectura, donde se han encontrado diversas notas donde habla acerca de grietas, estabilidad de estructuras, resistencia de arcos, vigas a flexión, además de mencionar conceptos de pandeo y compresión, Torres (2011). El análisis estructural, tal como es conocida en la actualidad, tiene sus inicios alrededor del siglo XVII, gracias a las contribuciones de Galileo Galilei (1564-1642), quien en su libro Dos Nuevas Ciencias, aborda temas sobre propiedades mecánicas de materiales, donde afirma que la resistencia de una barra a tensión no depende la longitud, sino a la sección transversal del material, Monteza (1983).

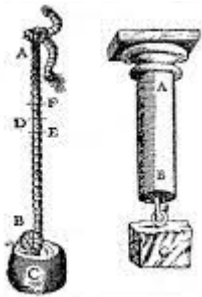


Figura 1.- Barra a tensión (Aportes de Galileo Galilei)

No fue hasta que Young (1773-1829) determinó la elasticidad de los materiales mediante el módulo de elasticidad, mejor conocido como módulo de Young, empleado en materiales con comportamiento lineal-elásticos. De la misma manera, Simeón Poisson (1781-1840), determinó con otra constante que contribuyó con la teoría de elasticidad, Álvarez (2016).

Richard Courant (1888-1972), fue el primero en desarrollar el Método de Elementos Finitos (MEF), que tras los avances que se han dado, tanto matemáticos como tecnológicos, se fueron desarrollando programas computacionales que permitieron la solución de problemas complejos del área de mecánica, Álvarez (2016).

Todas estas mejoras en las técnicas y el total entendimiento se vieron fortalecidas gracias al cálculo estructural, auxiliado en los métodos derivados de la mecánica y análisis matemático. Estos avances fueron posibles con el descubrimiento de que todos los fenómenos naturales se pueden analizar mediante las relaciones exactas de las matemáticas, siempre y cuando se establezcan modelos adecuados para su estudio. De esta manera se dio origen a la ciencia moderna y para el desarrollo del cálculo de estructuras, donde el cálculo diferencial e integral se hicieron indispensables para el análisis.

MARCO TEÓRICO.

De acuerdo con “Mecánica de Materiales” de Russell Hibbeler podemos citar:

ECUACIONES DE EQUILIBRIO. El equilibrio de un cuerpo requiere un balance de fuerzas para impedir que el cuerpo se traslade o tenga un movimiento acelerado. Estas condiciones pueden expresarse de manera matemática mediante:

$$\sum F = 0 \quad (1)$$

$$\sum M_O = 0 \quad (2)$$

Donde $\sum F$ representa todas las fuerzas que actúan sobre el cuerpo y $\sum M_O$ es la suma de los momentos de todas las fuerzas respecto a cualquier punto O, Hibbeler (2011).

ANÁLISIS DE FLEXIÓN EN VIGAS. Una de las características de las vigas es que son elementos largos, donde su longitud debe ser al menos diez veces el valor de su sección transversal. Otra característica que tiene estos elementos es que las cargas son transversales, es decir, que la carga genera flexión, Beer (2015).

Las vigas se clasifican según el tipo de apoyo, y dependiendo de cuales sean los apoyos que tenga la viga, serán las reacciones que presenta cada uno de los casos.

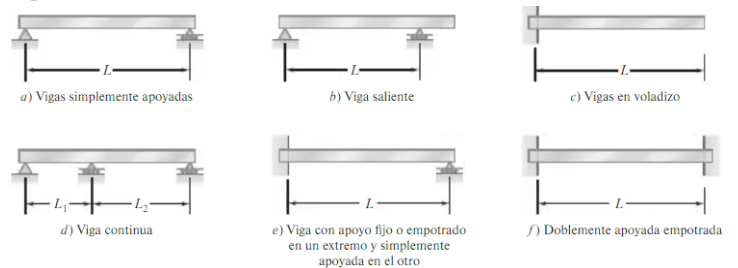


Figura 2.- Clasificación de vigas por su apoyo, Beer (2015).

Las cargas aplicadas en las vigas se pueden presentar como puntuales, las cuales actúan en un punto en específico, asimismo, existen las cargas distribuidas, las cuales pueden ser rectangulares, trapezoidales o triangulares.

FUERZAS CORTANTES Y MOMENTOS FLEXIONANTES.

De acuerdo con “Resistencia de Materiales” de Robert L. Mott, podemos citar:

Fuerzas cortantes: Las fuerzas cortantes son fuerzas internas generadas en el material de una viga para equilibrar las fuerzas



externas aplicadas y garantizar el equilibrio de todas sus partes, Mott (2009).

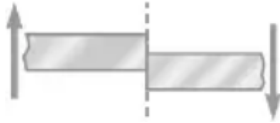


Figura 3.- Fuerza cortante, Beer (2015).

Momento flexionante: Los momentos flexionantes son momentos internos que se generan en el material de una viga para equilibrar la tendencia de las fuerzas externas de hacer que gire cualquier parte de ella, Mott (2009).

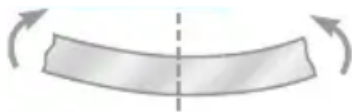


Figura 4.- Momento flexionante, Beer (2015).

Cuando se realiza el diseño de vigas, es esencial determinar la deformación lineal o deflexión, incluso si la carga aplicada es mínima, existe una pequeña deflexión sobre la viga. La flecha, como comúnmente se le conoce a las deflexiones, puede originar daños indeseables en estructuras y elementos, resultando en accidentes o daños irreparables, por lo que al realizar el cálculo de las flechas, la tolerancia permita estabilidad en distintas normas según su aplicación, es muy poca. Existen varios métodos para determinar las deformaciones de vigas, pero el más utilizado por su precisión es el Método de la doble Integración. Este método relaciona directamente la curvatura con el momento debido a las cargas a las que es sometida la viga.

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = Mx \quad (3)$$

Integrando la ecuación anterior, se obtiene la ecuación que nos proporcionará la pendiente.

$$EI \frac{dy}{dx} = EI\theta = \int M(x) dx + C_1 \quad (4)$$

Al realizar una segunda integral a la primera fórmula, se obtiene la flecha en cualquier punto de la viga debido a las cargas a las que está sometida.

$$EIy = \iint M(x) dx + C_1 x + C_2 \quad (5)$$

DESARROLLO.

La viga planteada será la siguiente:

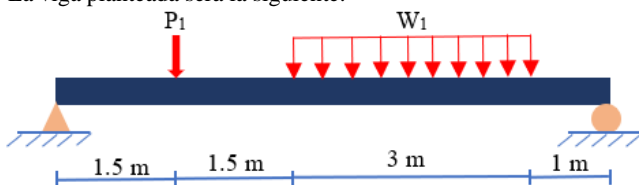


Figura 5.- Problema de viga, diseño propio elaborado en Word.

Donde la carga $P_1=20\text{KN}$ y $W_1=30\text{KN/m}$. Al tratarse de un acero sabemos que el módulo de Young es de 200GPa y tiene un coeficiente de Poisson de 0.28 . El problema nos indica que el momento de inercia de la sección transversal es $I=1 \times 10^8 \text{ mm}^4 = 1 \times 10^{-4} \text{ m}^4$.

Con estos datos podemos iniciar dibujando el Diagrama de Cuerpo Libre (D.C.L.), el cual nos servirá para determinar las reacciones en los apoyos.

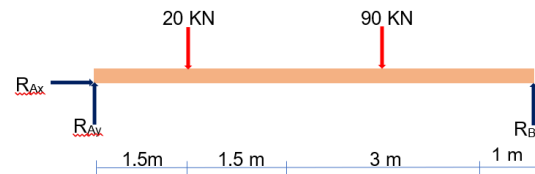


Figura 6.- Diagrama de cuerpo libre de la viga, diseño propio elaborado en Word.

Al tratarse de un problema de estática, se sabe que la sumatoria de fuerzas que actúan sobre la viga es nula y que la sumatoria de momentos respecto a cualquier punto también lo es.

$$\sum F_x = 0 \quad (6)$$

$$\sum F_y = 0 = R_{Ay} - 20 \text{ KN} - 90 \text{ KN} + R_{By} = 0 \quad (7)$$

NOTA: Los momentos en sentido antihorario son positivos y los giros en sentido horario son negativos.

$$\sum M_A = 0 \quad (8)$$

$$-20 \text{ KN}(1.5\text{m}) - 90 \text{ KN}(4.5\text{m}) + R_{By}(7\text{m}) = 0 \quad (9)$$

De la ecuación (9) se despeja R_{By} , y posteriormente el valor obtenido se sustituye en la ecuación (7).

$$R_{By} = \frac{30 \text{ KNm} + 405 \text{ KNm}}{7 \text{ m}} = 62.143 \text{ KN} \quad (10)$$

$$\therefore R_{Ay} = 47.857 \text{ KN} \quad (11)$$

Una vez obtenido las reacciones en los apoyos, se calcula los diagramas de fuerzas cortante y momento flexionante, para la cual se hará uso de las siguientes fórmulas:

$$V_A = R_A - 20 \text{ KN} - 30\text{KN}(x - 3) + 30\text{KN}(x - 6) \quad (12)$$

$$M_A = R_A(x) - 20\text{KN}(x - 1.5) - \frac{30\text{KN}(x - 3)^2}{2} + \frac{30\text{KN}(x - 6)^2}{2} \quad (13)$$

En estas fórmulas se sustituirán los valores de $x=0, 1.5, 3, 6, 7$ y 3.93 (momento máximo). Los valores obtenidos son los siguientes:

Tabla 1.- Valores de fuerzas cortantes y momentos flexionantes:

x (m)	Cortante (KN)	Momento (KNm)
0	47.857	0



1.5	47.857	71.785
1.5	27.857	71.785
3	27.857	113.571
3.93	0	126.5
6	-62.143	62.142
7	-62.143	0

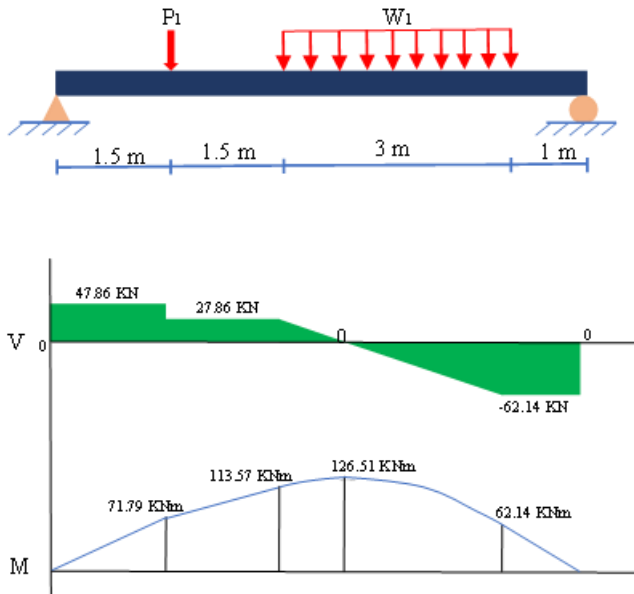


Figura 7.- Diagramas de fuerzas cortantes y momentos flexionantes, diseño propio elaborado en Word.

Posteriormente se procederá a calcular la flecha, por lo que se hará uso del método de la doble integración.

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = -Mx \quad (14)$$

Sustituyendo nos queda que:

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = -47.857 \text{ KN}(x) + 20\text{KN}(x-1.5) + \frac{30\text{KN}(x-3)^2}{2} - \frac{30\text{KN}(x-6)^2}{2} \quad (15)$$

Si integramos la expresión anterior tenemos que:

$$EI \frac{dy}{dx} = \frac{-47.857 \text{ KN}(x)^2}{2} + \frac{20\text{KN}(x-1.5)^2}{2} + \frac{30\text{KN}(x-3)^3}{6} - \frac{30\text{KN}(x-6)^3}{6} + C_1 \quad (16)$$

Al realizar la segunda integración de la ecuación (14) nos queda que:

$$EIy = \frac{-47.857 \text{ KN}(x)^3}{6} + \frac{20\text{KN}(x-1.5)^3}{6} + \frac{30\text{KN}(x-3)^4}{24} - \frac{30\text{KN}(x-6)^4}{24} + C_1x + C_2 \quad (17)$$

Se conoce que la deflexión en los apoyos es cero, por lo que si se sustituyen las condiciones de frontera se determinarán las constantes de integración, por lo que si $x=0$; $y=0$. Sustituyendo en la ecuación (17)

$$0 = EIy = 0 + C_1(0) + C_2 \quad \therefore C_2 = 0 \quad (18)$$

Si $x=7$; $y=0$. Sustituir en ecuación (12)

$$0 = EIy = \frac{-47.857 \text{ KN}(7)^3}{6} + \frac{20\text{KN}(5.5)^3}{6} + \frac{30\text{KN}(4)^4}{24} - \frac{30\text{KN}(1)^4}{24} + C_1(7) \quad (19)$$

$$\therefore C_1 = 266.07 \text{ KNm}^2$$

Para calcular la flecha se sustituye en ecuación (12) cuando $x=3.5$

$$(200\text{GPa})(1 \times 10^{-4} \text{ m}^4)y = \frac{-47.857 \text{ KN}(3.5)^3}{6} + \frac{20\text{KN}(2)^3}{6} + \frac{30\text{KN}(0.5)^4}{24} + (266.07\text{KNm}^2)(3.5) \quad (20)$$

$$y_{max} = 0.0308 \text{ m} = 30.8 \text{ mm}$$

Para calcular el esfuerzo máximo provocado por flexión, se tiene:

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad (21)$$

Debido a que el problema no nos proporciona la forma geométrica de la sección transversal, suponemos que será perfil cuadrado, y de acuerdo con la fórmula de momento de inercia de calcularán las medidas:

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad \text{si } b = h \quad (22)$$

$$h = \sqrt[4]{12I} \quad (23)$$

Sustituyendo valores en (23) tenemos que:

$$h = \sqrt[4]{(1 \times 10^{-4} \text{ m}^4)(12)} = 0.1861 \text{ m}$$

Al ser un perfil cuadrado se puede determinar que el valor de $c=h/2=0.09305 \text{ m}$, $M=126.5 \text{ KNm}$ y $I=1 \times 10^{-4} \text{ m}^4$

Sustituyendo valores en la ecuación (21):

$$\sigma = \frac{Mc}{I} = \frac{(126.50 \text{ KNm})(0.09305 \text{ m})}{1 \times 10^{-4} \text{ m}^4} = 117,708 \text{ KN/m}^2$$

Una vez que se determinaron los principales puntos característicos de la viga, se procederá a realizar el análisis en el programa computacional Ansys APDL versión estudiantil.

Para iniciar se tendrá que configurar todos los parámetros del programa:

- 1) Establecer que es un análisis estructural.
- 2) Seleccionar un elemento tipo viga (beam 2nodos 188).
- 3) Colocar las propiedades del material; Modulo de Young=200GPa; Coeficiente de Poisson=0.28
- 4) Realizar el diseño de la viga y establecer la sección transversal.
- 5) Colocar las condiciones de frontera en los apoyos, y de la misma manera, colocar las cargas aplicadas.
- 6) Resolver el análisis.

Una vez resuelto, se leerán los resultados en el Postprocesador, obteniendo que las reacciones en los apoyos son:



```

PRINT REACTION SOLUTIONS PER NODE
**** POST1 TOTAL REACTION SOLUTION LISTING ****
LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0
THE FOLLOWING X,Y,Z SOLUTIONS ARE IN THE GLOBAL COORDINATE SYSTEM
  NODE    FX      FY      FZ      MX      MY      MZ
    1     0.0000  47857.  0.0000  -0.42727E-012  0.0000  0.0000
   152     0.0000  62143.  0.0000  -0.42727E-012  0.0000  0.0000
TOTAL VALUES
VALUE 0.0000  0.11000E+006  0.0000  -0.42727E-012  0.0000  0.0000
  
```

Figura 8.- Reacciones en apoyos en Newton (N), resultados obtenidos en Ansys APDL versión estudiantil.

Como se puede observar en la imagen, la deflexión máxima (flecha máxima) nos da un valor de 0.030904 m

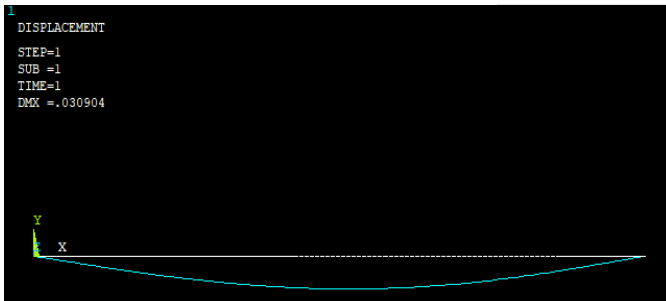


Figura 9.- Deflexión máxima, Análisis realizado en Ansys APDL versión estudiantil.

También podemos visualizar los diagramas de Fuerzas Cortantes y Momentos flexionantes.

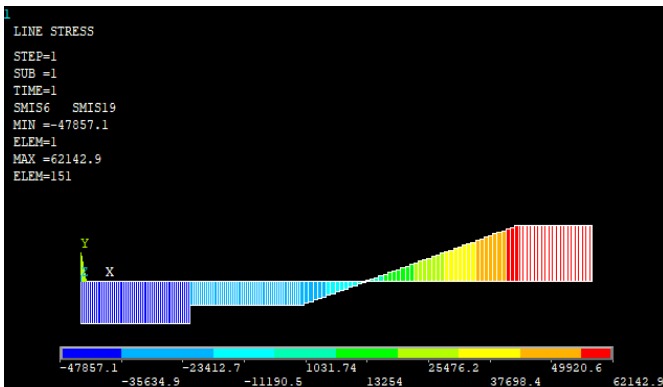


Figura 10.- Diagrama de fuerzas cortantes (N), Análisis realizado en Ansys APDL versión estudiantil.

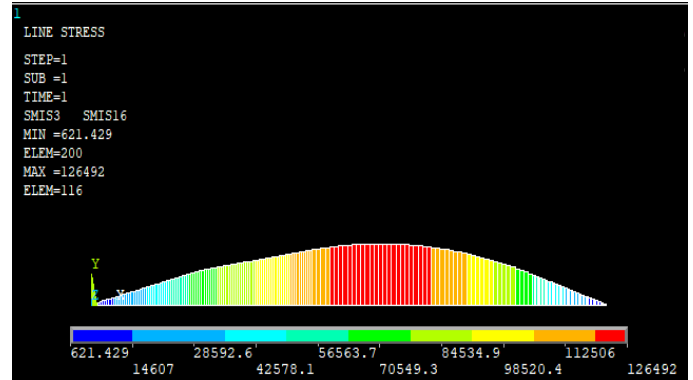


Figura 11.- Diagrama de momentos flexionantes (Nm), Análisis realizado en Ansys APDL versión estudiantil.

El esfuerzo provocado por flexión que nos proporciona el programa es de $0.11762 \times 10^9 \text{ N/m}^2 = 117,620 \text{ KPa}$

```

PRINT $ ELEMENT SOLUTION PER ELEMENT
STRESSES AT BEAM SECTION NODAL POINTS
ELEMENT NODE = 37
SEC NODE    SXK      SKZ      SKY
  1          0.11762E+009  0.0000  0.0000
  3          0.74506E-008  0.0000  0.0000
 13          0.13039E-007  0.0000  0.0000
 11          0.11762E+009  0.0000  0.0000
  5          -0.11762E+009  0.0000  0.0000
 15          -0.11762E+009  0.0000  0.0000
 23          0.11176E-007  0.0000  0.0000
 21          0.11762E+009  0.0000  0.0000
 25          -0.11762E+009  0.0000  0.0000
Max= 0.11762E+009  0.0000  0.0000
Min= -0.11762E+009  0.0000  0.0000
  
```

Figura 12.- Esfuerzo provocado por flexión

Tabla 2.- Tabla de comparaciones entre resultados analíticos y numéricos, de autoridad propia.

	Ansys APDL	Analítico.
Reacción Ay	47,857 N	47,857 N
Reacción By	62,143 N	62,143 N
Momento flexionante máximo	126,492 Nm	126,500 Nm
Fuerza Cortante máximo.	62,142.9 N	62,1423 N
Fuerza Cortante mínimo.	47,857.1 N	47,857 N
Flecha	0.030904 m	0.0308 m
Esfuerzo provocado por flexión máximo	117,620 KPa	117,708 KPa



CONCLUSIONES.

Como se puede observar, la variación de resultados tanto en el programa computacional Ansys APDL estudiantil como los cálculos analíticos, varían muy poco. De esta manera, se ve la precisión con las que este tipo de programas trabajan, además de que, si se utiliza correctamente, se puede ahorrar tiempo en obtener este tipo de análisis.

AGRADECIMIENTOS.

Al Instituto Politécnico Nacional por permitirme ser parte de esta gran institución y brindarme el apoyo necesario para desarrollar y concluir este trabajo de investigación.

Al CONAHCYT por destinar los apoyos necesarios para apoyar la realización de este trabajo.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez-Sánchez, A. G. (2016), El problema elástico en vigas, pp. 9,13,15.
- Beer, F. P., Johnston, E. R. (2015), *Mecánica de Materiales*, séptima edición, Ed. McGraw Hill Education, pp. 4, 302-303.
- Heyman, J. (2002). Vigas y pórticos. Reverte, pp. 2
- Hibbeler, R. C., *Mecánica de Materiales* (2011). 8va Edición. Ed. Pearson, pp 6, 255.
- Monteza-Gamboa, N. (1983), Análisis de pórticos rígidos estáticamente indeterminados por el método de la matriz de desplazamientos, Tesis de grado.
- Mott, R. L. (2009), *Resistencia de Materiales*, 5ta Edición, Ed. Pearson/Prentice Hall, pp 258.
- Nelson, J. K., McCormac, J. C. (2006), *Análisis de estructuras métodos clásico y matricial*, 3ra edición, pp 18-19.
- Torres, S. T., Soto-Sepúlveda, A. (2011), Porqué Leonardo Da Vinci no puede ser considerado un Hombre Ciencia, pp15

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Carlos Elías Miguel Ruiz: Alumno de Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica del Instituto Politécnico Nacional, ESIME, SEPI Zacatenco México.

Guillermo Urriolagoitia Sosa: Ingeniero Mecánico egresado de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Adolfo López Mateos “Zacatenco”. Maestría En Ciencias en el área de Diseño Mecánico con tema en Mecánica de la Fractura en la Sección de Estudios de Posgrado e investigación en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y eléctrica del Instituto Politécnico Nacional. Maestría en Ingeniería Mecánica con tema en Fatiga por Frotamiento Egresado de la Universidad de Oxford Brookes. PhD Doctorado en filosofía con tema de Esfuerzos Residuales en la Universidad de Oxford Brookes. Actualmente Profesor Investigador de la sección de estudios de posgrado e investigación en la escuela superior e Ingeniería Mecánica y eléctrica del Instituto Politécnico Nacional.

Beatriz Romero Ángeles: Ingeniero Mecánico egresada de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Unidad Adolfo López Mateos “Zacatenco”. Maestría en Ciencias en Mecánica no Lineal en la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional. Doctorado en Arresto de Grietas en la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Actualmente Profesor Investigador de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional.

Jacobo Martínez Reyes: Doctor en física de los materiales por la Escuela Superior de Matemáticas.

David Esau Carbajal López: Alumno de Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica del Instituto Politécnico Nacional, ESIME, SEPI Zacatenco México.

Rolando Manuel Jose: Alumno de Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica del Instituto Politécnico Nacional, ESIME, SEPI Zacatenco México.

Rodrigo García García: Alumno de Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica del Instituto Politécnico Nacional, ESIME, SEPI Zacatenco México.



Comparación del esfuerzo y la deformación entre las caras de dos placas en contacto unidas mediante un perno precargado

Jesus Alberto Cruz Flores**, *Juan Manuel Sandoval Pineda, *Luis Armando Flores Herrera******

RESUMEN

El propósito de un perno o un grupo de pernos es generar una fuerza de sujeción capaz de mantener unidos a todos los miembros del ensamble para evitar fugas, separaciones o deslizamientos entre los elementos. Dentro del diseño de las uniones apernadas uno de los factores a considerar es la rigidez de los elementos cuando el perno es precargado, ya que los elementos actúan como resortes de compresión en serie. Las fuerzas de compresión que actúan sobre los miembros del ensamble se distribuyen de tal manera que forman un cono, el cual es conocido como *cono de compresión* y su forma depende de las propiedades y especificaciones de los miembros del ensamble y del perno. En esta investigación, se presenta el análisis de la unión de dos placas mediante un perno precargado, el cual fue representado como un cuerpo sólido y como un cuerpo de línea. Como condición frontera se considera que una de las placas se encuentra restringida en su movimiento en los vértices inferiores. De este análisis, se presenta la comparación de los resultados analíticos (Teoría del cono de compresión) y los resultados numéricos (MEF, ANSYSTM) de la deformación real y los esfuerzos en el ensamble y entre las caras en contacto de las placas para los dos modelos de perno propuestos. Este análisis permite la comprensión del fenómeno estudiado mediante la comparación y relación de los valores proporcionados por el método del elemento finito con los calculados analíticamente. De igual forma, muestra que la representación del elemento de sujeción como un elemento de línea puede disminuir el costo computacional con una correcta aproximación de los resultados, lo cual permite simplificar el diseño y simulación de estructuras o prototipos ensamblados mediante uniones apernadas.

ABSTRACT

The purpose of a bolt or a group of bolts is to generate a force capable of holding together all the ensemble members to avoid leaks, separations, and slips between the members. In the design of bolted joints, one of the design factors to consider is the stiffness of the elements when the bolt is preloaded, due to the elements acting as compression springs in series. The compression forces that act over the ensemble members are distributed in such a way that it forms a cone known as a compression cone whose shape depends on the properties and specifications of the bolt and the members of the ensemble. This work shows the analysis of the joint of two plates through a bolted joint, which was represented as a solid body and line body. As a boundary condition, it was considered that one of the plates is restricted in its movement at the lower vertices. From this analysis, the comparison of the analytical (Compression Cone Theory) and numerical (MEF, ANSYSTM) results of deformation and stresses in the assembly and between the faces in contact with the plates for the two models of proposed bolts are presented. This analysis allows us to understand the phenomenon studied by comparing and relating the values provided by the finite element method with those calculated analytically. In the same way, it shows that the representation of the bolted joint as a line element can reduce the computational cost with a correct approximation of the results, which allows simplifying the design and simulation of structures or prototypes assembled by bolted joints.

Palabras claves: Perno Precargado, Cono de Compresión, Campos de deformación y esfuerzo, Método del Elemento Finito

NOMENCLATURA

k = Relación de resorte o rigidez, N/m
 F_i = Precarga del perno, N
 δ = Desplazamiento o elongación, mm
 E = Módulo de Young, GPa
 d = Diámetro del perno, mm
 d_2 = Diámetro exterior del cono en la interfaz de contacto, mm
 D = diámetro promedio de la arandela, mm
 t = espesor de la mitad del cono, mm
 P_c = presión de contacto, MPa
 F_c = fuerza de compresión, N
 A_c = Área comprimida, mm²
 N = Número de pernos del ensamble
 T = Torque aplicado a cada perno, Nm
 f = Coeficiente de fricción, 0.2 para pernos de acero
 K = Coeficiente del par de torsión, 0.2
 $p(r)$ = Presión de contacto, MPa

*Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Azcapotzalco, Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, Av. de las Granjas 682, Col. Santa Catarina, CP 02250, CDMX-México, jesusalbcruf1022@gmail.com, Estudiante de Posgrado de la Maestría en Ingeniería de Manufactura de la SEPI ESIME-UA.

**Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Azcapotzalco, Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, jsandoval@ipn.mx, Doctor en Ciencias en Ingeniería Mecánica, Profesor Investigador de la SEPI ESIME-UA.

***Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Azcapotzalco, Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, lafloresh@ipn.mx, Doctor en Ciencias en Ingeniería Mecánica, Profesor Investigador de la SEPI ESIME-UA.



p_o = Presión de contacto máxima, MPa
 R_{max} = Radio exterior del cono en la interfaz de contacto, mm
 R_{min} = Radio del orificio del barreno, mm
 r = Distancia al centro de orificio, mm

INTRODUCCIÓN

Las uniones apernadas se utilizan ampliamente en la construcción y en diferentes sistemas mecánicos tales como turbinas, bridas, motores, etc. Su propósito es mantener unidos a los elementos que componen los diferentes ensambles y transferir las cargas de un componente a otros (Li et al., 2022). Para ello se utiliza un sujetador roscado o perno que une a los demás elementos mediante una tuerca que al ajustarse estira el perno provocando una fuerza de sujeción llamada precarga o pretensión, la cual existe sin importar si se ejerce una carga externa sobre el perno (Budynas & Nisbett, 2012).

La precarga en una unión apernada tiene una influencia importante sobre el ensamble ya que reduce la carga externa soportada por el perno y también coloca a los miembros en compresión los cuales actúan como resortes de compresión en serie, aumentando así su capacidad para soportar fuerzas de tracción (Raeymaekers, 2022). Bajo la acción de las fuerzas de compresión que actúan sobre los miembros del ensamble, los esfuerzos se distribuyen en la forma de un cono conocido como cono de compresión. La forma del cono depende de diversos factores tales como las dimensiones de las partes ensambladas, materiales, juntas, especificaciones del perno, etc (Budynas & Nisbett, 2012). Sin embargo, la distribución de la presión entre la cabeza del perno y la tuerca no se distribuye uniformemente por lo que es complicado obtener la formación y distribución de los campos de esfuerzos debido a la compresión mediante cálculos analíticos (Bickford, 2008). En consecuencia, se recurre a métodos experimentales o al análisis por elementos finitos para obtener una aproximación del comportamiento del ensamble.

El método del elemento finito (MEF) para el análisis y modelado de uniones apernadas ha sido utilizado por diferentes autores para el estudio de diferentes temas involucrados en el ensamble de componentes. Por ejemplo, en la investigación de Bruzzone (2019), se planteó la formulación de una ecuación mediante los resultados obtenidos por el MEF de la representación de un perno como cuerpo sólido para el cálculo de la rigidez de los miembros de un ensamble la cual se comparó con los modelos clásicos para el cálculo de la rigidez de los elementos para su validación. En la investigación de Shi & Zhang (2022) se propone un modelo matemático mediante el uso del MEF de un perno precargado, el cual fue representado como cuerpo sólido, de los parámetros característicos de contacto para las interfaces de uniones apernadas, el cual toma en cuenta la presión de contacto distribuida no uniformemente; los resultados de la investigación indican que el modelo propuesto puede mejorar significativamente la precisión del modelado de uniones apernadas. Por otro lado, en el trabajo de Kim et al. (2007) se investigó el modelado de la estructura con uniones apernadas, utilizando cuatro clases de diferentes

representaciones de perno, donde se obtuvo que la representación del perno como cuerpo sólido muestra la mejor aproximación a los resultados experimentales. Finalmente, en el trabajo de Sušić et al. (2022) se estudió el efecto de la representación del perno sobre los esfuerzos y la deformación en un modelo sencillo, donde se concluyó que la representación del perno modelado como cuerpo sólido muestra la mejor aproximación a los resultados de la distribución de los esfuerzos en el cuerpo del perno.

En este trabajo se analiza la representación de un perno precargado, en dos eventos; como un cuerpo sólido y como un cuerpo de línea en la unión de dos placas mediante el programa ANSYS™ con el módulo Static Structural, el cual resuelve el Método del Elemento Finito (MEF), para realizar un análisis comparativo entre de los valores analíticos y los obtenidos por el MEF de los campos de esfuerzos y la deformación real en el ensamble y entre las caras de placas para ambas representaciones. Este estudio permitirá al lector una mayor comprensión del fenómeno estudiado y proporcionará una consideración de diseño y modelado para la simulación de componentes mecánicos que cuenten con uniones apernadas.

METODOLOGÍA

CONDICIONES DE FRONTERA

Para el modelo propuesto de dos placas unidas mediante un perno precargado, se considera como primera condición de frontera que la placa inferior se encuentra restringida en su movimiento en los vértices inferiores lo cual restringe el desplazamiento y rotación en los ejes X, Y y Z. La Figura 1 muestra una representación bidimensional del modelo donde se aplica esta condición.

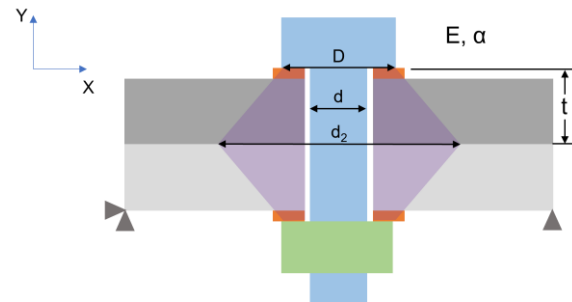


Figura 1.- Condiciones de frontera para el modelo inicial. (Autoría propia)

En la figura podemos observar que el ensamble está identificado por diferentes literales que representan el diámetro de cuerpo del perno (d), el diámetro exterior del cono en la interfaz de contacto (d_2), el diámetro promedio de la arandela (D) el cual es aproximadamente 1.5 veces el diámetro del perno, el espesor de la mitad del cono (t), el módulo de Young (E) y el ángulo de la mitad del ápice del cono (α). En la Tabla. 1 se presentan las propiedades del acero A36, el cual fue utilizado como material en los elementos de sujeción y las placas.

Tabla 1. Propiedades del acero A36 (Hibbeler, 2011).

Propiedad	Valor
Densidad	7850 kg/m ³
Módulo de Young	200 GPa
Relación de Poisson	0.3
Límite de Cedencia	250 MPa

CÁLCULOS ANALÍTICOS DE LA RIGIDEZ Y PRESIÓN DE CONTACTO

Cuando un perno se somete a una precarga se induce una compresión en los elementos del ensamble que en conjunto se considera su analogía como el trabajo de resortes bajo compresión en serie. La relación de resorte o rigidez (k), es la relación entre la precarga al elemento y el desplazamiento que se produce por esta fuerza (Budynas & Nisbett, 2012).

$$k = \frac{F_i}{\delta} \quad (1)$$

La rigidez de los elementos puede calcularse utilizando el método del cono de presión para un ángulo fijo del cono y asumiendo que la distribución de esfuerzos en los miembros del ensamble toma la forma un tronco cónico alrededor de la mitad de la unión como se muestra en la Figura 1 (Budynas & Nisbett, 2012; Raeymaekers, 2022). Así, la relación de resorte o rigidez del tronco es:

$$k = \frac{F_i}{\delta} = \frac{\pi E d \tan \alpha}{\ln \frac{(2t \tan \alpha + D - d)(D + d)}{(2t \tan \alpha + D + d)(D - d)}} \quad (2)$$

Por otra parte, la presión de contacto es una función de la fuerza de compresión y del área comprimida, como se expresa en la siguiente ecuación (Moreno Soriano et al., 2021):

$$P_c = \frac{F_c}{A_c} \quad (3)$$

La fuerza de compresión aplicada F_c se describe mediante la ecuación.

$$F_c = \frac{TN}{fd} \quad (4)$$

El torque o par de torsión aplicado debido a una precarga puede estimarse mediante la siguiente expresión (Budynas & Nisbett, 2012):

$$T = KF_i d \quad (5)$$

Para la distribución de la presión de contacto entre las interfaces de uniones apernadas, se puede utilizar una función de aproximación ampliamente aceptada, la cual considera que la distribución de la presión de contacto disminuye linealmente en la dirección radial y permanece sin cambios en la dirección circunferencial como se observa en la Figura 2 (Li et al., 2022).

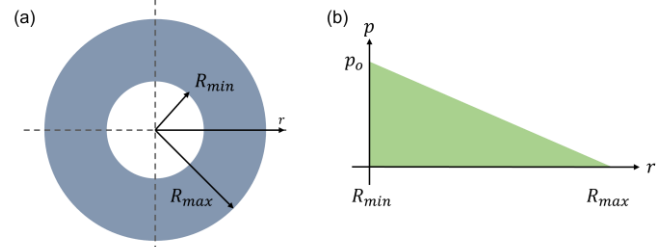


Figura 2.- (a) Área de contacto nominal de la interfaz de la unión atornillada y (b) presión de contacto aproximada distribuida a lo largo del radio de contacto (Li et al., 2022).

Por lo tanto, la presión de contacto $p(r)$ que se distribuye a lo largo del radio de contacto puede ser expresada como:

$$p(r) = p_0 \left(\frac{R_{max} - r}{R_{max} - R_{min}} \right) \quad (6)$$

Para la obtención del radio de contacto o R_{max} se obtiene el diámetro exterior del tronco en la interfaz de contacto mediante la siguiente expresión (Juvinall & Marshek, 2012):

$$R_{max} = \frac{D + t \tan \alpha}{2} \quad (7)$$

La relación entre la precarga F_i y la presión de contacto satisface la función (Li et al., 2022).

$$F_i = \int_{R_{min}}^{R_{max}} 2\pi r p(r) dr \quad (8)$$

De la ecuación 6 y 8, se deduce la expresión para la presión de contacto máxima.

$$p_0 = \frac{3F_i}{\pi(R_{max}^2 + R_{max}R_{min} + R_{min}^2)} \quad (9)$$

SOLUCIÓN ANALÍTICA

Para el caso de estudio de la unión apernada, se propone la aplicación de una precarga de 1000 N a un perno de 1/4 de pulgada de diámetro (6.35×10^{-3} m) y un diámetro promedio de arandela de 9.525 mm (9.525×10^{-3} m) como se observa en la Figura 3. Para el cálculo de la rigidez se considera que el ángulo de la mitad del ápice del cono es de 30° . Asimismo, debido a que la arandela y la placa superior son del mismo material el cono superior puede considerarse como un cono único con un espesor de 6.651 mm



(6.651×10^{-3} m). Para el cálculo de la presión de contacto, se considera que el área comprimida sea igual al área de la cara de la arandela en contacto con la cabeza del perno la cual cuenta con un área de 45.32 mm^2 ($45.32 \times 10^{-6} \text{ m}^2$)

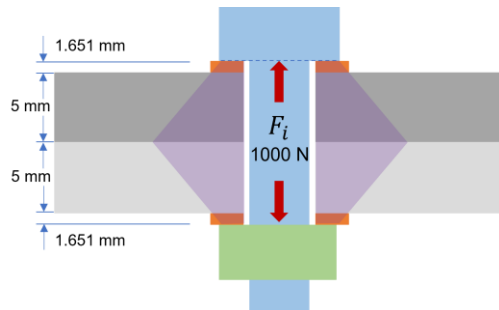


Figura 3.- Perno bajo precarga (Autoría propia)

Con los datos proporcionados la elongación de las placas junto con la arandela se calcula utilizando la ecuación (1) y (2), obteniendo un valor de 3.15×10^{-4} mm. Por otra parte, utilizando las ecuaciones (3), (4) y (5) se calcula la presión de contacto sobre la cara de arandela obteniendo un valor de 22 MPa.

Por otra parte, para el cálculo de la distribución de la presión en la interfaz de contacto se determina R_{max} con la ecuación (7) obteniendo un valor de 6.206 mm (6.206×10^{-3} m), con el valor del radio del barrenado en la placa R_{min} de 3.373 mm (3.373×10^{-3} m) y haciendo uso de la ecuación (9) se obtiene un valor de la presión de contacto máxima en la interfaz de 13.48 MPa. Con este último valor y haciendo uso de la ecuación (6) se realiza un gráfico de la distribución de la presión a lo largo del radio de contacto el cual se presenta en el análisis comparativo del esfuerzo y la deformación entre las placas.

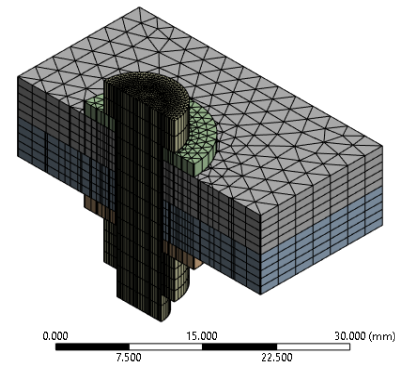
SIMULACIÓN NUMÉRICA COMPUTACIONAL

Para el análisis numérico de la precarga del perno como cuerpo sólido y como cuerpo de línea sobre las dos placas se realiza el modelado CAD de cada geometría, cabe mencionar que para el caso del perno como cuerpo sólido la geometría fue simplificada para facilitar el análisis numérico. Posteriormente ambos modelos fueron transformados en modelos numéricos compuestos por un número finito de nodos y elementos.

Para ambos casos el contacto entre las caras de las placas y entre las arandelas y las placas, se establece como friccional, con un coeficiente de fricción de 0.2. Asimismo, para el cuerpo sólido el contacto entre la cabeza del perno y la tuerca con las arandelas se define como friccional con un coeficiente de 0.2. Por otra parte, para el caso en el que el perno se representa como un cuerpo de línea, el contacto se establece mediante la generación de uniones con comportamiento deformable y una región de aplicación igual al área de contacto de la cabeza del perno. El modelo CAD y numérico de la geometría con el perno representado como cuerpo

sólido y como cuerpos de línea se muestran en la Figura 4 (a) y (b) respectivamente.

(a)



(b)

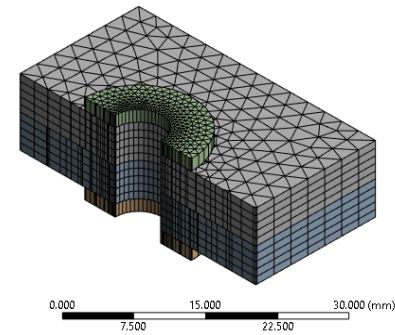


Figura 4.-Vista de corte de la representación numérica del perno como (a) cuerpo sólido y (b) cuerpo de línea (Autoría propia).

La simulación numérica se realizó mediante el programa ANSYS™ que resuelve el método del elemento finito (MEF). Para ello se utiliza el módulo Bolt Pretension para aplicar la precarga del perno, la cual se ejecuta en dos etapas simultáneas, en la primera se aplica la pretensión al cuerpo del perno y en la segunda se aplica un bloqueo en la longitud de agarre del perno para que permanezca constante cuando se termina la precarga del perno.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los contornos de los campos de deformación real o desplazamiento de las placas junto con las arandelas, resultado de la pretensión del perno se muestran en la Figura 5, tanto para el cuerpo sólido y el cuerpo de línea.

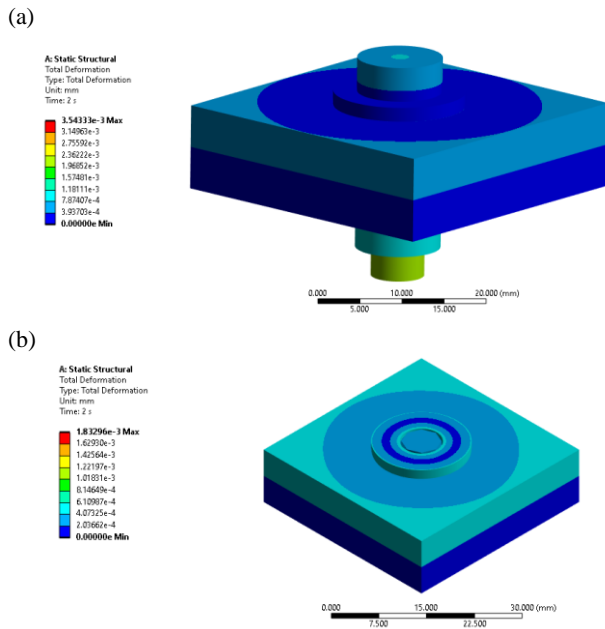


Figura 5.- Contornos de los campos de deformación para la representación del perno como (a) cuerpo sólido y (b) cuerpo de línea (Autoría propia).

La deformación comparable con los resultados analíticos se obtiene de una de las zonas en la superficie de contacto entre la cabeza del perno y la arandela, en comparación con otros trabajos (Sušić et al., 2022). donde la deformación total comparable con los cálculos analíticos se obtiene de la suma del valor máximo y mínimo que el análisis por el MEF proporciona. No obstante, los valores máximos y mínimos que el método proporciona corresponden a la deformación en el perno y en las placas, por lo que en este caso sería un error considerar la suma de estos valores como el valor de la deformación total en la placa que es comparable con el obtenido analíticamente. Por otra parte, la Figura 6 muestra la distribución de los campos de esfuerzos de compresión sobre las arandelas y las placas en forma de contornos.

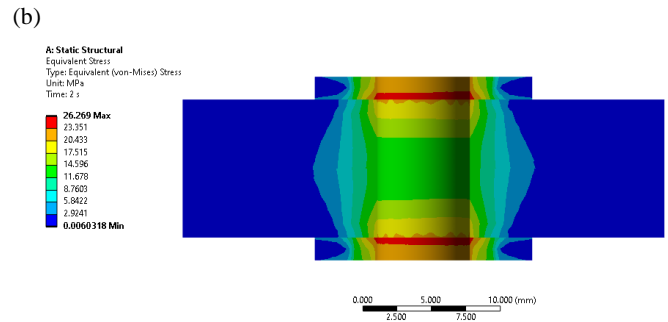
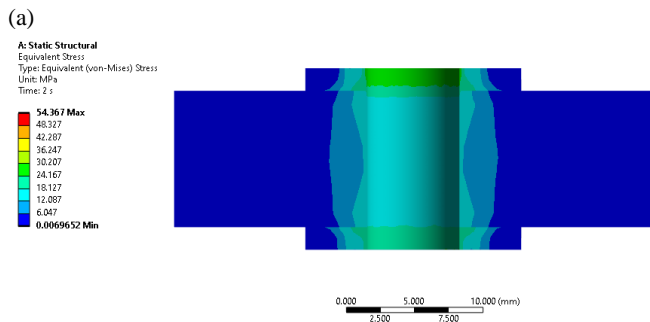


Figura 6.- Contornos de los campos de esfuerzos para la representación del perno como (a) cuerpo sólido y (b) cuerpo de línea (Autoría propia).

De los contornos de los campos de esfuerzos debido a la compresión de los elementos, se observa la formación de un patrón cónico no uniforme similar al mostrado en la literatura especializada en uniones apernadas (Bickford, 2008). Este patrón se ha obtenido mediante experimentación o mediante el MEF, debido a que la presión de contacto entre la cabeza del perno y la unión no es uniforme como tampoco lo es entre la tuerca y la unión, lo cual dificulta el cálculo de la distribución de la presión. En la representación del perno como cuerpo sólido se observa la formación de contornos no uniformes de la distribución de los campos de esfuerzo, los cuales son similares a los reportados en la literatura especializada. En contraste, los contornos que se presentan en el modelo con la representación del perno como cuerpo de línea tienden a formar un cono de compresión bien definido como el que se observa en la Figura 1.

Asimismo, se menciona que sobre las líneas que delimitan los contornos de los campos de esfuerzos de compresión, los valores de los esfuerzos son iguales cuando el perno es precargado. Para corroborar esto, se define un path o línea de trayectoria, la cual se aproxima al comportamiento de los contornos de los campos de esfuerzo a una distancia de 4.7625 mm, la cual es equivalente al radio del diámetro promedio de la arandela, y una profundidad de 5 mm del centro del orificio de las placas como se observa en la Figura 7, tanto para el perno como cuerpo sólido y como cuerpo de línea.

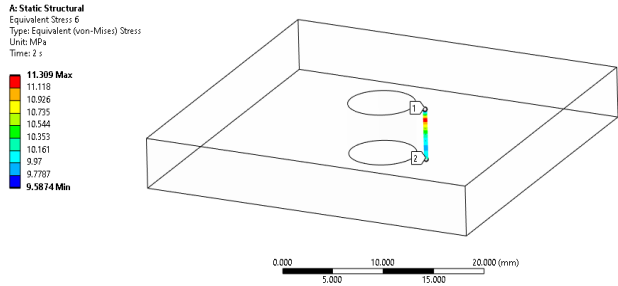


Figura 7.-Línea de trayectoria sobre la placa superior para el modelo con representación del perno como cuerpo sólido (Autoría propia).

De este análisis se obtienen las gráficas de los valores de la distancia vs. el esfuerzo las cuales se muestran en la Figura 8, sobre el path para ambos cuerpos, donde en la representación del perno como cuerpo sólido se obtuvo un valor máximo y mínimo de 10.98 y 9.67 MPa respectivamente, con una diferencia de 1.31 MPa, mientras que en el cuerpo de línea se obtuvo un valor máximo y mínimo de 11.31 y 9.59 MPa respectivamente, con una diferencia de 1.72 MPa. Por otro lado, al comparar el valor de esfuerzo máximo para ambas representaciones se obtiene una diferencia de 0.33 MPa, mientras que para el esfuerzo mínimo se obtiene una diferencia de 0.08 MPa. Por lo tanto, se puede decir que los resultados obtenidos de los contornos de los campos de esfuerzos para la representación del perno como cuerpo sólido y como cuerpo de línea muestran una excelente aproximación.

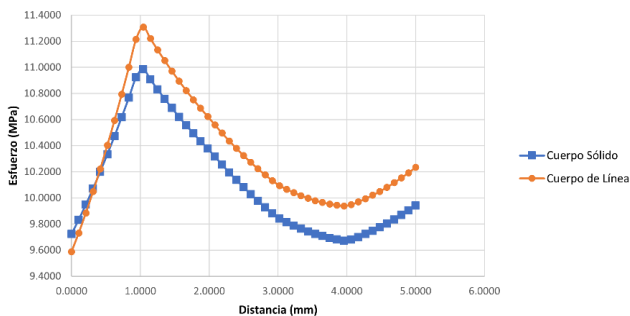


Figura 8.-Valor del esfuerzo en función de la profundidad (Autoría propia).

De acuerdo con el comportamiento de los gráficos para ambos cuerpos, se observa un comportamiento no lineal del esfuerzo conforme la distancia en el path incrementa, esto debido a que la trayectoria definida no sigue con exactitud la distribución de las líneas de los campos de esfuerzo mostradas por el MEF. No obstante, la diferencia entre los valores es mínima por lo que podría considerarse que los valores de los esfuerzos sobre los contornos son equivalentes.

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS ANALÍTICOS Y NUMÉRICOS

Los resultados de los cálculos analíticos y por medio del método del elemento finito para el esfuerzo y la deformación sobre las placas para el modelo con la representación del perno como un cuerpo sólido se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultados obtenidos para la representación del perno como cuerpo sólido (Autoría propia).

	Método Analítico	Método Numérico	Desviación de la solución analítica (%)
Deformación (mm)	3.62×10^{-4}	3.61×10^{-4}	0.27%
Esfuerzo (MPa)	22.06	21.88	0.81%

Por otra parte, los resultados de la comparación del esfuerzo y la deformación sobre las placas para el modelo con representación del perno como un cuerpo de línea se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados obtenidos para la representación del perno como cuerpo de línea (Autoría propia).

	Método Analítico	Método Numérico	Desviación de la solución analítica (%)
Desplazamiento (mm)	3.62×10^{-4}	3.57×10^{-4}	1.38%
Esfuerzo (MPa)	22.06	20.97	4.94%

De acuerdo con los valores registrados en la Tabla 1, se observa que los valores calculados analíticamente y los obtenidos mediante el método numérico para el modelo donde el perno se representó como un cuerpo sólido, muestran una excelente similitud debido a que la diferencia máxima para cada valor es de menos del 1%. En contraste, los valores calculados y los numéricos para la representación del perno como cuerpo de línea, los cuales se muestran en la tabla 2, muestran una mayor diferencia para cada uno de los valores. No obstante, la diferencia entre los valores no es mayor al 5%, por lo que estos también muestran una buena aproximación de los resultados con la ventaja de una disminución en el costo computacional al momento de resolver el MEF.

ANÁLISIS COMPARATIVO DEL ESFUERZO Y LA DEFORMACIÓN ENTRE LAS CARAS DE LAS PLACAS

Para el estudio de los campos de esfuerzos provocados por la compresión de los elementos, se realiza un análisis de los contornos de las caras en contacto de la placa superior e inferior mediante la creación de una named selection para cada superficie.



De acuerdo con la Figura 6, los troncos o conos formados para cada modelo muestran una simetría a partir de la interfaz de contacto debido a que los elementos de la unión tienen el mismo módulo de Young (E). Por lo tanto, los contornos de los campos de esfuerzos muestran valores idénticos o casi idénticos en ambas superficies. En la Figura 9 se exponen los contornos de los campos de esfuerzos para cada modelo con su respectiva representación de perno como cuerpo sólido y como cuerpo de línea, donde se puede observar que la distribución de los esfuerzos se extiende radialmente en la forma de un cono.

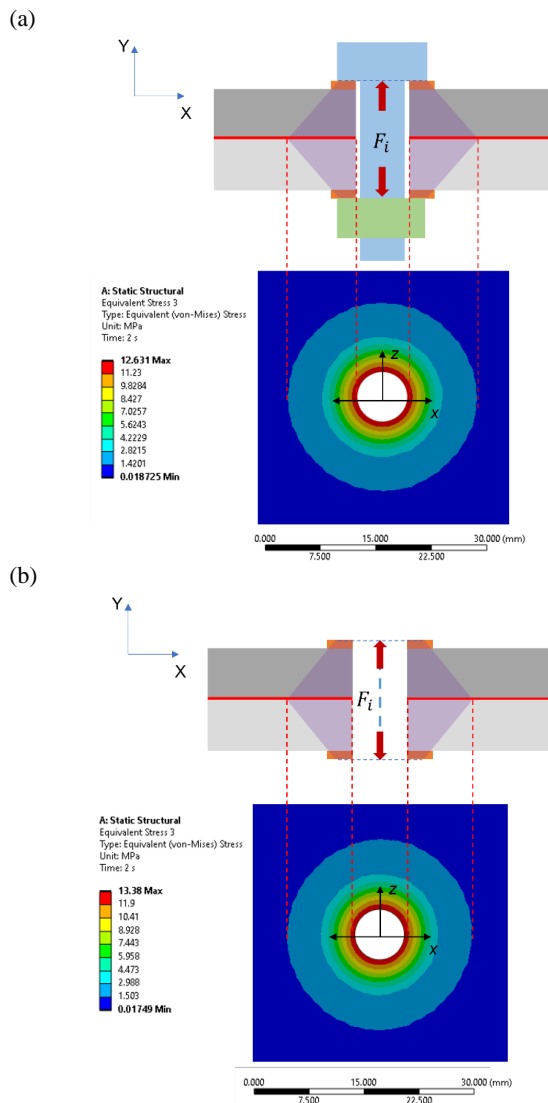


Figura 9.- Contornos de los campos de esfuerzos en las caras de las placas para la representación del perno como (a) cuerpo sólido y (b) cuerpo de línea (Autoría propia).

Con la finalidad de estudiar a mayor detalle la distribución de los campos de esfuerzo entre las caras de las placas y comparar los resultados arrojados con por el MEF y los cálculos analíticos, se define un path en la parte central de la placa inferior con el cual se obtiene un gráfico para cada modelo de la distribución de los campos de esfuerzos con respecto a la distancia el cual se muestran en la Figura 10.

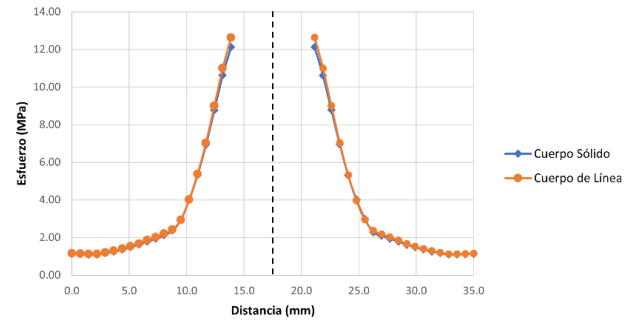


Figura 10.- Distribución de los esfuerzos sobre la línea de trayectoria para la representación del perno como cuerpo sólido y como cuerpo de línea (Autoría propia).

De acuerdo con el gráfico, se observa que la distribución de los esfuerzos sobre la cara de la placa inferior debido a la compresión de los elementos para ambos modelos es simétrica sobre la dirección circunferencial. Asimismo, se muestra que la presión no se distribuye de forma uniforme sobre la interfaz y que disminuye de forma gradual al llegar al radio de contacto máximo. Por último, se puede decir que los valores que el MEF muestra para ambos modelos son cercanos, por lo tanto, existe una excelente aproximación entre ambas representaciones.

Por otra parte, para el análisis de la distribución de los esfuerzos sobre la línea de trayectoria de los resultados obtenidos por el MEF y el modelo analítico, se realiza un gráfico del cambio de la distribución de esfuerzos con respecto a la distancia radial el cual se muestra en la Figura 11. De este gráfico se observa que la función de aproximación para los cálculos analíticos muestra una clara discrepancia con los numéricos debido a que este modelo considera que la distribución de los esfuerzos debido a la presión de contacto disminuye linealmente de acuerdo con el cono de compresión, sin embargo, debido a la complejidad de la distribución de la presión de contacto en uniones apernadas, es bastante difícil establecer un modelo analítico preciso que describa el comportamiento no lineal de la distribución.

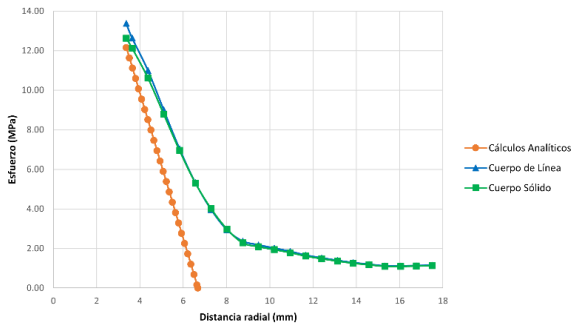


Figura 11.- Distribución de los esfuerzos con respecto a la distancia radial del modelo analítico y de los modelos numéricos (Autoría propia).

Para el estudio de deformación real provocada por la compresión de los elementos del ensamble entre las caras de las placas, se realiza una named selection en cada una de las caras en contacto para obtener los contornos de deformación en forma vectorial para ambas representaciones de perno, los cuales se observan en las Figuras 12 y 13, donde se muestra que para ambos modelos los contornos de deformación muestran un comportamiento idéntico tanto en la cara superior e inferior del ensamble,

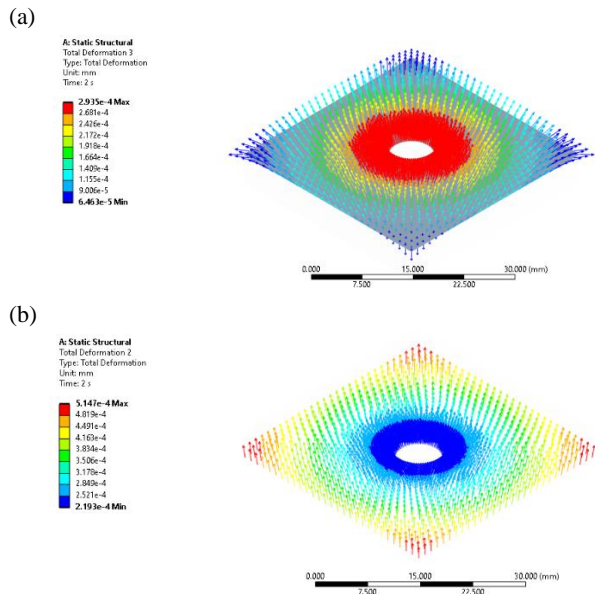


Figura 12.- Contornos de deformación de forma vectorial para la (a) cara inferior y (b) cara superior, del modelo con representación del perno como cuerpo sólido (Autoría propia).

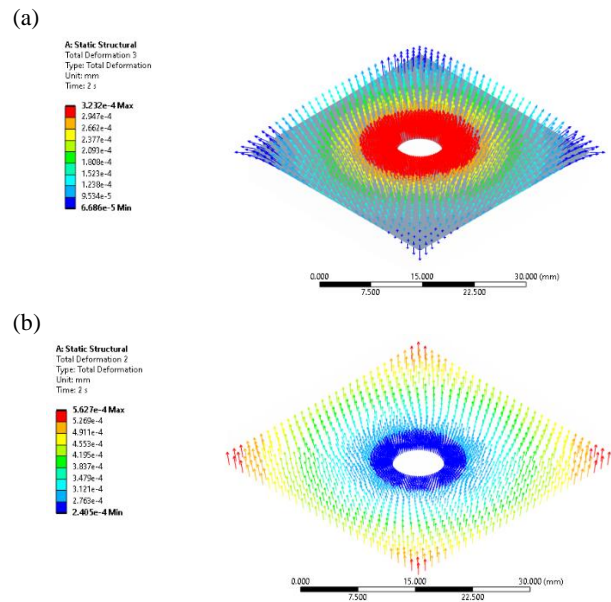


Figura 13.- Contornos de deformación de forma vectorial para la (a) cara inferior y (b) cara superior, del modelo con representación del perno como cuerpo de línea (Autoría propia).

Para observar a mayor detalle la distribución de los campos de esfuerzo entre las caras de las placas y comparar los resultados para los dos modelos propuestos, se define un “path” en la parte central de la placa inferior y superior de cada modelo, con el cual se grafica el desplazamiento con respecto a la distancia para cada modelo. Los gráficos se muestran en la Figura 14 y 15.

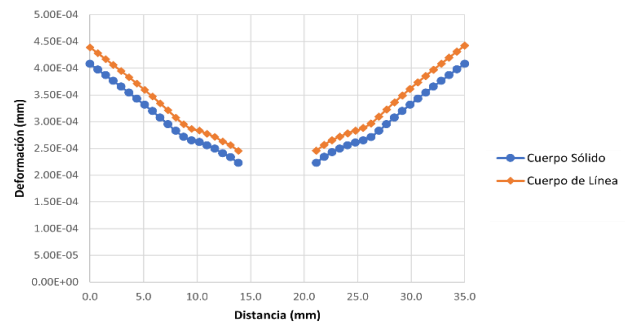


Figura 14.- Distribución de la deformación en la placa superior para la representación del perno como cuerpo sólido y como cuerpo de línea (Autoría propia).

De acuerdo con el gráfico de la Figura 14 se observa que, debido a la compresión causada por la aplicación de la precarga del perno, la placa superior sufre de una deformación real o desplazamiento mayor en los extremos libres debido a la flexión de la placa en



comparación con la zona cercana al barreno, la cual sufre de un desplazamiento menor.

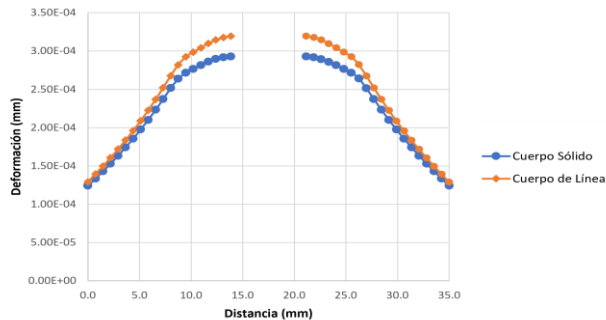


Figura 15.- Distribución de la deformación en la placa inferior para la representación del perno como cuerpo sólido y como cuerpo de línea (Autoría propia).

En contraste, en la placa inferior de la Figura 15 se aprecia que el desplazamiento es mucho mayor en la zona central debido a que es la zona de contacto de la placa superior mientras que en los extremos o bordes de la placa la deformación es menor debido a la condición de frontera donde se restringe el movimiento y rotación de los vértices, de la cual no existir se esperaría un comportamiento similar al presentado en la placa superior. De ambos gráficos se observa que existen pequeños desplazamientos en la zona de contacto de las placas, los cuales incrementan en los extremos y decrecen en la zona cercana al perno precargado, lo cual representa un factor de diseño importante al realizar uniones apernadas de recipientes que contiene líquidos, ya que estas pequeñas deformaciones pueden provocar fugaz.

Por último, de la comparación de los resultados presentados en las gráficas, del modelo con la representación del perno como cuerpo sólido y como cuerpo de línea, se muestra que en la placa superior existe un desplazamiento de los valores obtenidos para ambos modelos, no obstante, la diferencia entre los valores máximos y mínimos es mínima, además de seguir un comportamiento idéntico. De igual forma que en la cara superior, se observa un comportamiento similar en la cara inferior. Por lo tanto, se puede decir que los resultados proporcionados por el MEF para ambos modelos muestran una excelente aproximación entre ellos para el análisis de la deformación real entre la interfaz de las caras en contacto.

CONCLUSIÓN

En este trabajo se llevó a cabo un análisis comparativo de las soluciones analíticas y numéricas mediante el MEF de dos modelos de ensambles con la representación del perno precargado como cuerpo sólido y como cuerpo de línea. Asimismo, se presenta un conjunto de observaciones obtenidas a partir del análisis del comportamiento de los campos de esfuerzos y deformaciones en las caras de contacto del ensamble. Los resultados analíticos del ensamble comparables con los numéricos en ambos modelos muestran una excelente similitud, siendo el modelo con la

representación del perno como cuerpo sólido el que proporciona una mejor aproximación a los resultados analíticos y a la distribución de los contornos de los campos de esfuerzos reportados en la literatura, pero con un mayor costo computacional debido a la discretización tanto del perno como del ensamble. En contraste, los resultados presentados por el modelo con la representación del perno como cuerpo de línea muestran una aproximación menor a los resultados analíticos y al cuerpo sólido. No obstante, la diferencia entre los resultados es mínima con la ventaja de la reducción en el costo computacional para la resolución del MEF. Por otra parte, del análisis de los campos de esfuerzos y la deformación entre las caras de la placa para ambos modelos, se muestra un comportamiento similar tanto de la distribución de los esfuerzos como de la deformación de los elementos que componen el ensamble. Por lo tanto, se puede decir que la representación del perno como un cuerpo sólido o como un cuerpo de línea no tiene un efecto significativo sobre el análisis de uniones apernadas donde el perno es sometido a precarga. Esta comparación resulta útil para el diseño y simulación de estructuras, elementos de máquinas y prototipos que son ensamblados mediante pernos precargados.

AGRADECIMIENTOS

El primer autor agradece el apoyo al Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por la beca otorgada para cursar la Maestría en Ingeniería de Manufactura en la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Azcapotzalco. Así mismo, los autores agradecen el apoyo otorgado por el proyecto SIP-IPN no. 20230955 y al Instituto Politécnico Nacional por el apoyo recibido para el desarrollo de esta investigación académica.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

1. Bickford, J. H. (2008). *Introduction to the Design and Behavior of Bolted Joints* (Cuarta). Taylor and Francis Group.
2. Bruzzone, F., Delprete, C., & Rosso, C. (2019). A proposal of a unique formula for computing compliance in bolted joints. *Procedia Structural Integrity*, 24, 167–177. <https://doi.org/10.1016/J.PROSTR.2020.02.089>
3. Budynas, R. G., & Nisbett, K. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (Novena). McGraw-Hill Educación.
4. Hibbeler, Russell. (2011). *Mecánica de Materiales* (Octava). Pearson Educación.
5. Juvinall, R. C., & Marshek, K. M. (2012). *Fundamentals of Machine Component Design* (Quinta). Wiley & Sons, Inc.
6. Kim, J., Yoon, J.-C., & Kang, B.-S. (2007). Finite element analysis and modeling of structure with bolted joints. *Applied Mathematical Modelling*, 31(5), 895–911. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2006.03.020>
7. Li, D., Botto, D., Li, R., Xu, C., & Zhang, W. (2022). Experimental and theoretical studies on friction contact of bolted joint interfaces. *International Journal of Mechanical*



- Sciences*, 236, 107773.
<https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2022.107773>
8. Moreno Soriano, R., Rojas, N., Nieto, E., de Guadalupe González-Huerta, R., & Sandoval-Pineda, J. M. (2021). Influence of the gasket materials on the clamping pressure distribution in a PEM water electrolyzer: Bolt torques and operation mode in pre-conditioning. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(51), 25944–25953.
<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.03.076>
 9. Raeymaekers, B. (2022). *Design of Mechanical Elements: A Concise Introduction to Mechanical Design Considerations and Calculations*. John Wiley & Sons, Inc.
 10. Shi, W., & Zhang, Z. (2022). Contact characteristic parameters modeling for the assembled structure with bolted joints. *Tribology International*, 165, 107272.
<https://doi.org/10.1016/j.triboint.2021.107272>
 11. Sušić, A., Nezirić, E., Isić, S., & Šunje, E. (2022). *Stress and Deformation Analysis of Different Bolt Models in Finite Element Analysis* (pp. 155–162). https://doi.org/10.1007/978-3-031-05230-9_18

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Jesus Alberto Cruz Flores. Ingeniero en Metalurgia y Materiales egresado de la Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas del Instituto Politécnico Nacional. Estudiante de la Maestría en Ingeniería de Manufactura en la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación (SEPI) de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) Unidad Azcapotzalco del Instituto Politécnico Nacional.

Juan Manuel Sandoval Pineda. Ingeniero Mecánico egresado de la ESIME Unidad Zacatenco del Instituto Politécnico Nacional. Maestro en Ciencias con especialidad en Ingeniería Mecánica en la SEPI de la ESIME Unidad Zacatenco. Doctor en Ciencias con especialidad en Ingeniería Mecánica en la SEPI de la ESIME Unidad Zacatenco. Actualmente miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel I y Profesor Investigador de la SEPI de la ESIME Unidad Azcapotzalco.

Luis Armando Flores Herrera: Ingeniero en Robótica Industrial egresado de la ESIME Unidad Azcapotzalco del Instituto Politécnico Nacional. Maestro en Ciencias con especialidad en Diseño Mecánico en la SEPI de la ESIME Unidad Zacatenco. Doctor en Ingeniería Mecánica en la SEPI de la ESIME Unidad Zacatenco. Actualmente miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel I y Profesor Investigador de la SEPI en la ESIME Unidad Azcapotzalco.





Simulador estocástico de una torre de destilación multicomponente basado en Excel

Mario Luis Chew Hernández, Leopoldo Viveros Rosas, Raúl Gómez Gómez-Tagle*

RESUMEN

La simulación dinámica se usa en la enseñanza del diseño de controladores, pues permite evaluar el desempeño de distintas alternativas de control. La mayoría de los ejercicios de diseño de controladores basados en simulación a nivel universitario consideran perturbaciones determinísticas. En la vida real, sin embargo, los procesos enfrentan perturbaciones fluctuantes, por lo que usar la simulación estocástica en ejercicios de ajuste de controladores proporcionaría al estudiante una experiencia más cercana a su futura práctica profesional que la conseguida usando simulación determinística. Sin embargo, las instituciones públicas que busquen utilizar simuladores dinámicos y estocásticos en la docencia se enfrentan a la necesidad de comprar licencias de software especializado, pues no hay simuladores dinámicos y estocásticos disponibles como software gratuito descargable. Este documento muestra un simulador dinámico y estocástico, con una interfaz amigable, de una torre de destilación, desarrollado como una macro de Excel. Este simulador tiene la ventaja de que puede ser utilizado sin costo para las instituciones educativas, ya que Excel es ampliamente utilizado por el personal universitario.

ABSTRACT

Dynamic process simulation is widely used in teaching controller design, as it allows foreseeing the performance of different control configurations and controller tunings. Currently, most college level controller design exercises that are based on simulation consider deterministic perturbations (i.e., steps or ramps). In real life, however, processes are more likely to face fluctuating, random disturbances, so the use of stochastic simulation in controller tuning exercises would provide students with an experience closer to their future professional practice than that provided by deterministic simulation. However, public institutions attempting to use dynamic, stochastic simulators in teaching, are hindered by the need of buying licenses of simulation packages or specialized programming languages (such as Matlab), as there aren't any dynamic, stochastic simulators available as downloadable freeware. This paper shows a dynamic, stochastic simulator with a friendly interface of a distillation tower, developed as an Excel Macro. This simulator has the advantage that it can be used at no cost to educational institutions, since Excel is almost universally known and used by college faculties.

Palabras claves: Simulación, destilación, control de procesos

* TECN: Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco, Dr. Mario Chew (mario@tesco.edu.mx), M. en C. Leopoldo Viveros (leopoldo@tesco.edu.mx), Ing. Raúl Gómez (raul.iqu@tesco.edu.mx)

INTRODUCCIÓN

Los simuladores dinámicos son muy útiles en la enseñanza del control de procesos, pues permiten comparar el desempeño de diferentes configuraciones de control y sintonizaciones de los controladores. Casi todas las experiencias de aprendizaje basadas en simulación aplican perturbaciones determinísticas en la evaluación dinámica de los controladores (Luyben y Luyben, 1996). En la práctica, las unidades de proceso están sujetas a perturbaciones mejor descritas como estocásticas, variando continuamente y de manera impredecible. Por lo tanto, el estudiante de ingeniería se beneficiaría de realizar prácticas de control de procesos que incluyan perturbaciones estocásticas. Para llevar a cabo estas actividades se requiere de simuladores dinámicos capaces de manejar elementos aleatorios (simuladores dinámicos estocásticos).

Por otro lado, las instituciones públicas de educación superior en países en desarrollo enfrentan una escasez de recursos económicos. Esto dificulta su capacidad para utilizar simuladores de procesos en sus actividades docentes, por la necesidad de comprar licencias. En el caso de los simuladores en estado estacionario, hay algunas alternativas de software gratuito que han sido validadas (por ejemplo, el simulador COCO (2022)). Sin embargo, este no es el caso de los simuladores dinámicos y menos aún del subconjunto de estos capaces de manejar perturbaciones aleatorias. Este manuscrito presenta el desarrollo del simulador dinámico de una torre de destilación de tres componentes con elementos estocásticos, con una interfaz amigable (que permite la interacción con el usuario mediante botones y cuadros de diálogo) creada utilizando funcionalidades macro de Microsoft Excel. Esto permite que el simulador se ejecute en dicho software, que ya está siendo utilizado por la mayoría de las facultades de ingeniería de las universidades en los países en desarrollo.

REVISIÓN DE LITERATURA

Revisiones literarias sobre las aplicaciones de simulación dinámica para optimizar sistemas energéticos y químicos se incluyen en Adams (2019) y Odedario y Nwabuokeyi (2018). Usos de la simulación para aplicaciones específicas son presentadas por Bauer y Filho (2004) para el diseño sostenible de plantas, Huang et al. (2016) para el modelado de presión de un gasificador e Idzham et al. (2018) para analizar una planta de aguas residuales de la industria petroquímica. Aplicaciones adicionales se encuentran en Yu y Jenne (2018), que abordan una planta de desalinización, Meshalkin et al. (2019) que optimizan el secado de fosfatos y Silviana et al. (2020) que analizan el tren de separación benceno-tolueno-xileno desde un punto de vista sostenible.



Respecto al software utilizado en las simulaciones dinámicas, Aspen Dynamics y Matlab se han utilizado para estudiar trenes de torres de separación (Khodadoost y Sadeghi 2011), ChemCAD para modelar reactores de polimerización (Kuzmić y Jukić, 2015) Aspen HYSIS para tratar reactores integrados energéticamente (Partono y Iqbal, 2018) y Matlab y COSMOL Multiphysics para estudiar catalizadores (Patan et al., 2018). Además, Wanotayaroj et al. (2020) presentan una propuesta para controlar ciclos de combustión utilizando Aspen Dynamics, Calise et al. (2020) simularon un sistema de aguas residuales utilizando INSEL (Integrated Simulation Environment Language) y Li et al. (2021) modelaron un conjunto de absorbedores de CO₂ para implementar un esquema de control predictivo, empleando ASPEN y Matlab.

Experiencias sobre el uso didáctico de simuladores de procesos químicos se incluyen en Joao y Silva (2017), que utilizan Aspen HYSIS para la formación de ingenieros en el manejo de trenes de destilación y Puskás et al. (2018) que utilizó Honeywell Unisim Design en la capacitación de operadores de una planta de isopropanol. En cuanto a informes sobre el desarrollo de simuladores de procesos propios en instituciones educativas con fines pedagógicos, Riachi et al. (2014) describen el simulador de estado estacionario Lazarus, ejecutado en UML y desarrollado como un freeware con la opción de incorporar módulos; Lona et al. (2000) y Cartaxo et al. (2014) desarrollan programas para estudiar la dinámica de las redes de intercambiadores de calor, Lee et al. (2017) desarrollan el simulador de un sistema de distribución de gas natural que corre en línea, Granjo y Rasteiro (2020) describen la plataforma de aprendizaje LABVIRTUAL que incluye simuladores de estado estacionario y Molina et al. (2021) muestran el simulador dinámico de un reactor, programado en Matlab.

Se puede observar que existe una creciente preferencia por usar software de simulación comercial (por ejemplo, ASPEN) y lenguajes de programación avanzados (por ejemplo, Matlab) en las aplicaciones de la simulación a la pedagogía y la investigación. Dado que este software requiere de licencias, las aplicaciones reportadas son de poca relevancia para la enseñanza en instituciones públicas. En contraste, el simulador aquí presentado está programado en Microsoft Excel, que es un programa que ya es ampliamente usado en las escuelas. Además, ninguno de los simuladores dinámicos reportados, construidos para aplicaciones de enseñanza, incorpora perturbaciones aleatorias. Como en la práctica, la operación de las plantas se ve afectada por perturbaciones aleatorias, el uso de simuladores dinámicos estocásticos para la enseñanza del diseño y ajuste de controladores puede preparar mejor al futuro ingeniero para operar plantas reales.

CASO DE ESTUDIO

Se considera una torre de destilación de diez platos alimentada con una mezcla de benceno, tolueno y p-xileno (Figura 1).

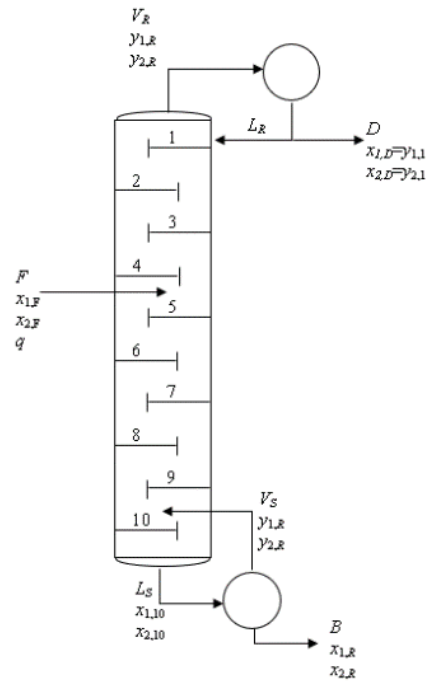


Figura 1. Torre de destilación. Fuente: elaboración propia

V_R y V_S son, respectivamente, el flujo molar de vapor en las secciones de rectificación y agotamiento, siendo L_R y L_S los flujos molares de líquido correspondientes; F , D y B son, respectivamente, el flujo de alimentación, destilado y el producto de fondo, y q la fracción de vapor de alimentación. La fracción molar de alimentación del componente i es $x_{i,F}$ ($i=1,\dots,3$). En la Figura 1, $x_{i,j}$ e $y_{i,j}$ denotan, respectivamente, la fracción molar del componente i en el líquido y el vapor que sale de los platos y reboiler ($j=1,\dots,10,R$). Se hicieron los siguientes supuestos:

- Los flujos molares en las secciones de la torre son constantes, así como el contenido molar en los platos (m) y reboiler (m_R).
- El equilibrio líquido-vapor sigue la ley de Raoult (1)

$$P y_{i,j} = P_i^0(T_j) x_{i,j} \quad i=1,\dots,3; \quad j=1,\dots,10,R \quad (1)$$

Donde P es la presión y $P_i^0(T_j)$ la presión de vapor del componente i a la temperatura T_j de la etapa j ($j=1,\dots,10,R$). Las presiones de vapor siguen la relación de Antoine (2) con constantes A_i , B_i y C_i

$$P_i^0 = \exp(A_i - B_i/(T_j + C_i)) \quad (2)$$

- La hidráulica de la torre es muy rápida, los flujos se ajustan instantáneamente a los cambios en F , q , V_S y r , que es la razón de reflujo (L_R / D), según (3-7)

$$V_R = V_S + qF \quad (3)$$

$$D = V_R / (1+r) \quad (4)$$

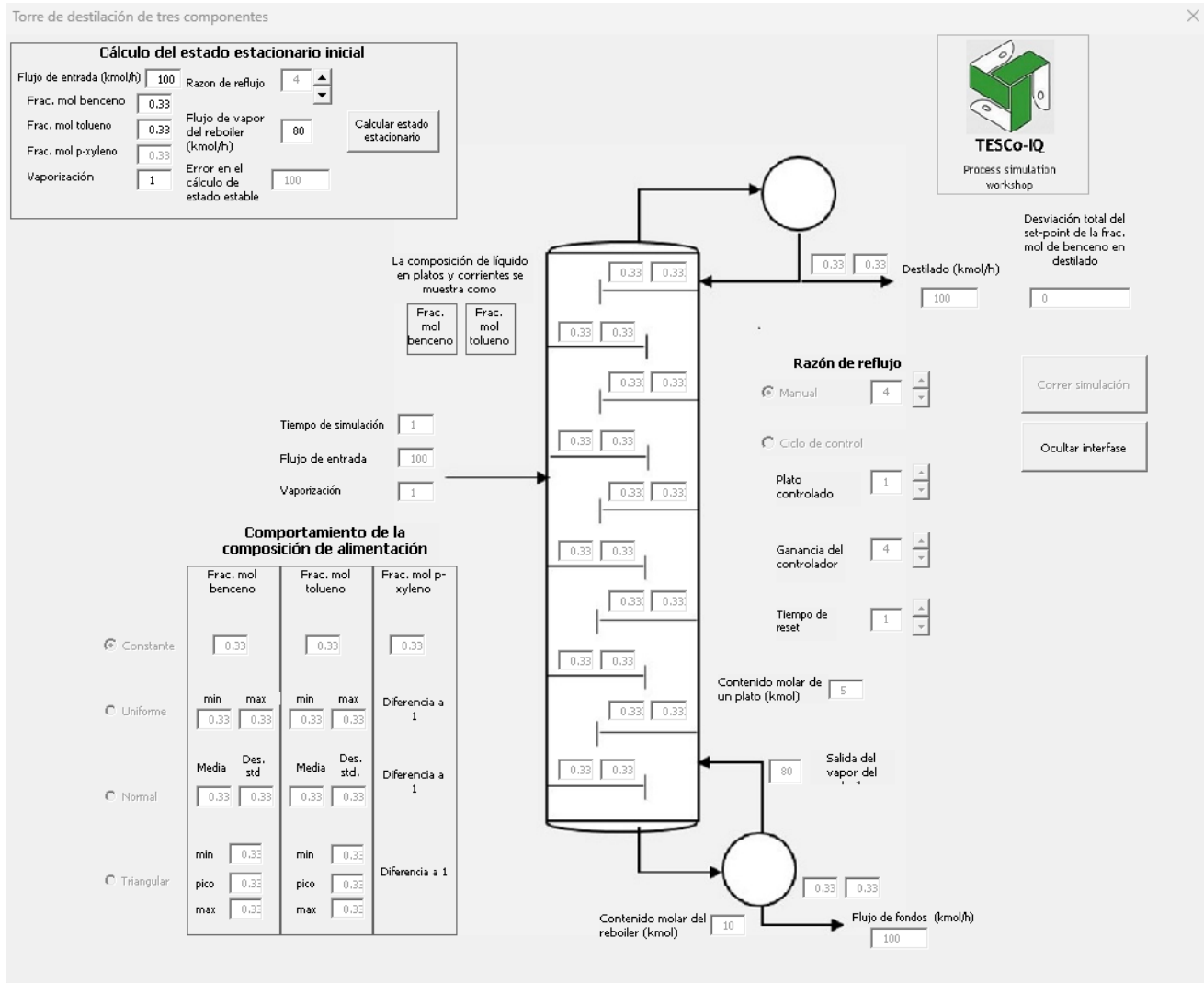


Figura 2. Interfase principal (elaboración propia)

$$B=F-D \quad (5)$$

$$L_S=V_S+B \quad (6)$$

$$L_R=Dr \quad (7)$$

- La composición de alimentación, $x_{i,F}$ ($i=1,\dots,3$), pueden fluctuar aleatoriamente.

El modelo dinámico consiste en dos balances molares por etapa, que resulta en veintidós ecuaciones diferenciales (8-13, para $i = 1,2$)

Plato 1

$$dx_{i,1}/dt = \{L_R(y_{i,1}-x_{i,1})+V_R(y_{i,2}-y_{i,1})\}/m \quad (8)$$

Plato en la sección de rectificación $j=2,3,4$

$$dx_{i,j}/dt = \{L_R(x_{i,j-1}-x_{i,j})+V_R(y_{i,j+1}-y_{i,j})\}/m \quad (9)$$

Plato de alimentación

$$dx_{i,5}/dt = \{F x_{i,F} + V_S y_{i,6} + L_R x_{i,4} - V_R y_{i,5} - L_S x_{i,5}\}/m \quad (10)$$

Plato en la zona de agotamiento $j=6,\dots,9$

$$dx_{i,j}/dt = \{L_S(x_{i,j-1}-x_{i,j})+V_S(y_{i,j+1}-y_{i,j})\}/m \quad (11)$$

Plato 10

$$dx_{i,10}/dt = \{L_S(x_{i,9}-x_{i,10})+V_S(y_{i,R}-y_{i,10})\}/m \quad (12)$$

Reboiler

$$dx_{i,R}/dt = \{L_S x_{i,10} - B x_{i,R} - V_S y_{i,R}\}/m_R \quad (13)$$

Las ecuaciones 8-13 se integran usando el método de Euler implícito: dado un vector de estado $\mathbf{X}=[x_{1,1}, x_{2,1}, \dots, x_{1,R}, x_{2,R}]^T$, un vector de perturbaciones $\mathbf{D}=[F, q, x_{1,F}, x_{2,F}]^T$ y un vector de



variables manipuladas $U=[r, V_s]^T$, el valor de X en el tiempo $t+h$, se obtiene de su valor en el tiempo t resolviendo el sistema de ecuaciones no lineales (14), siendo h el tamaño del paso.

$$X(t+h)=X(t) + h dX/dt |_{X(t+h), D(t), U(t)} \quad (14)$$

Para simular una torre con fracciones molares de alimentación estocásticas, $x_{1,F}(t)$ y $x_{2,F}(t)$ se muestrean de sus distribuciones de probabilidad, con los métodos descritos en Ross (2012), y se sustituyen en (14) antes de resolver estas ecuaciones para $X(t+h)$. Cuando se simula una torre controlada, una lógica proporcional integral (15) cambia la razón de reflujo r para controlar la temperatura de un plato en la sección de rectificación

$$r=r_0+K_C(e+(1/\tau) \int e dt) \quad (15)$$

Donde e es la desviación de la temperatura respecto a su set-point, K_C es la ganancia del controlador, τ es el tiempo de reset y r_0 el valor inicial de la relación de reflujo.

DESCRIPCIÓN DEL SIMULADOR

El simulador se entrega al usuario como un archivo de Microsoft Excel habilitado para macros. Al hacer clic en el botón "Comenzar simulación/mostrar interfase de la torre" (Figura 3) aparece la interfaz principal del simulador (Figura 2).

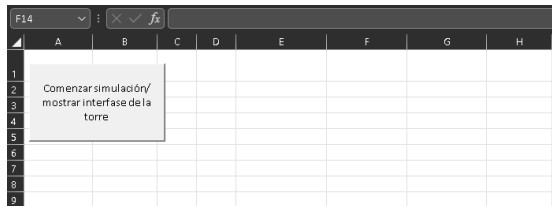


Figura 3. Pantalla inicial (fuente: elaboración propia)

Al inicio solo están activos los controles de la zona "Cálculo del estado estacionario inicial" (Figura 4) con los que el usuario especifica la condición inicial de la torre. Una vez introducidas las cualidades de la alimentación, la razón de reflujo y el flujo de vapor del reboiler (V_s), el botón "Calcular estado estacionario" determina el estado inicial del sistema. El error total al resolver el problema en estado estacionario (que se consiste en las derivadas (8-13) igualadas a cero) aparece en un cuadro de diálogo. La composición en estado estacionario del líquido en los platos y los flujos y composiciones de las corrientes de salida aparecen en las cajas de texto colocadas en los platos y cerca de las corrientes de salida en el dibujo de la torre (Figura 2). Una vez que se ha resuelto el estado estacionario, los botones de la simulación dinámica se activan.

El flujo de alimentación, su vaporización y el tiempo de simulación se introducen en los cuadros de diálogo situados a la izquierda de la torre en la figura 2. Las distribuciones de probabilidad de las fracciones molares de alimentación, que deben variar aleatoriamente, se definen a través de los controles en la sección "Comportamiento de la composición de alimentación" (Figura 5).

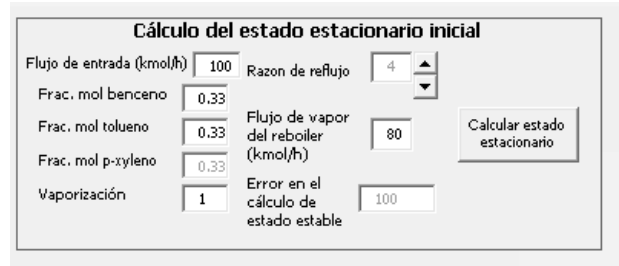


Figura 4. Controles en la zona de estado estacionario (elaboración propia)

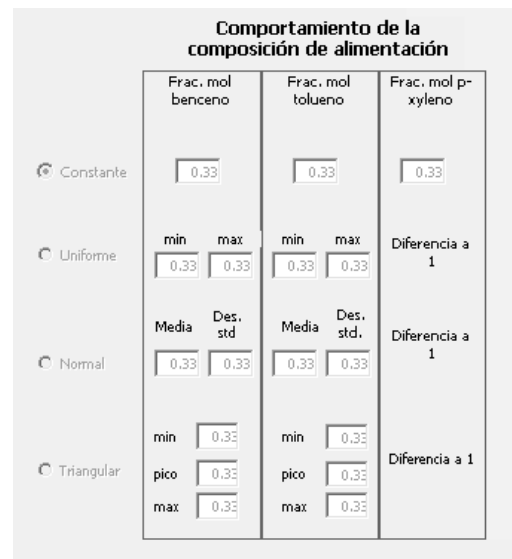


Figura 5. Controles para la composición de entrada (fuente: elaboración propia)

El selector a la izquierda en la Figura 5 permite seleccionar el tipo de comportamiento de las fracciones molares de benceno y tolueno, las que pueden permanecer constantes o seguir una distribución de probabilidad: uniforme (especificando valores mínimos y máximos), normal (especificando media y desviación estándar) o triangular (especificando valores mínimos, más probables y máximos). Las fracciones mol de alimentación muestreadas se estandarizan en caso de que su suma exceda uno y, como puede suceder con la distribución normal, si el valor simulado es negativo o mayor que uno, se producen nuevos valores hasta que estos se encuentran en el rango requerido.

La Figura 6 muestra la sección en la que se define el manejo de la razón de reflujo. Este puede estar fijo (seleccionando "manual" y definiendo su valor) o usarse para mantener la temperatura de un plato cerca de su temperatura en el estado estacionario inicial. Las especificaciones del controlador también se introducen aquí. La desviación absoluta total (es decir, el valor absoluto de la desviación integrada a lo largo del tiempo simulado) de la fracción



mol de benceno en el destilado, con respecto a su valor en estado estacionario, se muestra en un cuadro.

Una vez terminada la simulación, un cuadro de diálogo pregunta al usuario si se van a producir gráficos de los resultados. Si se responde "sí", se muestran gráficos de la temperatura del plato bajo control de temperatura y la fracción molar de benceno en destilado contra el tiempo. Estos gráficos se generan usando las funcionalidades de la hoja de cálculo de Excel (Figura 7).

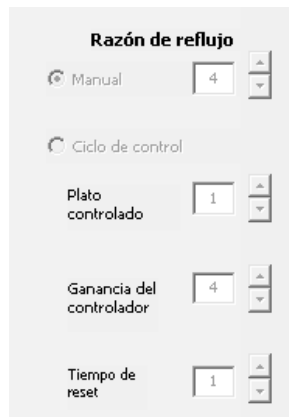


Figura 6. Controles para el manejo del la razón de reflujo (elaboración propia)

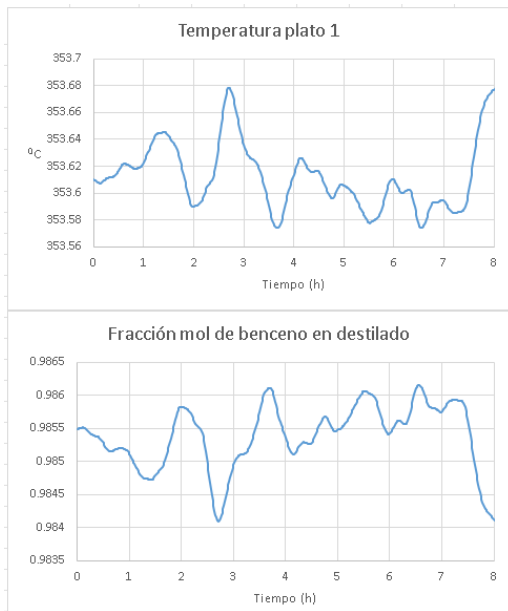


Figura 7. Gráficas producidas por el simulador (elaboración propia)

Para ilustrar los resultados del simulador, el gráfico superior de la Figura 8 muestra el comportamiento de la temperatura del plato uno

cuando las fracciones molares de alimentación de benceno y tolueno se distribuyen uniformemente entre 0.1667 y 0.5.

La Figura 8 compara los resultados cuando la razón de reflujo se fija en su valor inicial y cuando esta se manipula para controlar la temperatura del plato uno, con ganancia del controlador de 20 y tiempo de reset de 0.1 h. El gráfico inferior de la Figura 8 muestra la fracción molar de benceno en el destilado. La desviación absoluta total de la fracción molar de benceno en el destilado cuando se controla la temperatura es 0.0672, mientras que cuando la razón de reflujo está fija es de 0.21.

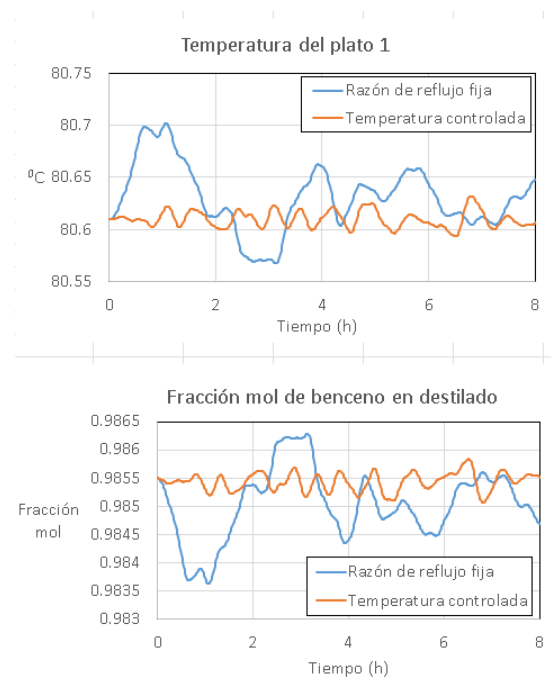


Figura 8. Comparación de operación con temperatura controlada y no controlada (elaboración propia)

Es fácil visualizar el uso de este simulador para capacitar a los estudiantes en el diseño de controladores en condiciones estocásticas, a través de ejercicios en los que necesiten ajustar el controlador y seleccionar el plato a controlar para minimizar la desviación de la fracción mol de benceno en el destilado, y pidiéndoles que discutan el efecto del comportamiento de la composición en la alimentación sobre los resultados.

CONCLUSIONES

Ante la inexistencia de simuladores gratuitos, las instituciones educativas que busquen usarlos en la enseñanza deben comprar licencias. Esta situación se agrava para los simuladores dinámicos capaces de incluir perturbaciones estocásticas, ya que estos son más especializados y tienen licencias más caras que los simuladores determinísticos. Como en la práctica los ingenieros necesitan controlar plantas que enfrentan perturbaciones impredecibles y continuamente variables, la implementación de ejercicios de control de procesos para estudiantes de ingeniería que utilizan



perturbaciones estocásticas simuladas puede ser una preparación valiosa para su futuro desempeño.

En este trabajo, se presenta un simulador estocástico destinado a este propósito. Como el simulador se ejecuta en Microsoft Excel, que ya se utiliza en la mayoría de las escuelas de ingeniería, no se necesita ningún software de licencia para su uso pedagógico. Se espera que el trabajo presentado aquí anime a las facultades de ingeniería a desarrollar sus propios simuladores.

REFERENCIAS

- [1] Adams T.A. (2019) , “Special Issue: Modeling and Simulation of Energy Systems”, *Processes*, vol. 7, no. 8, Art. no. 523.
- [2] Bauer P.E. y R. Filho (2004) “Incorporation of environmental impact criteria in the design and operation of chemical processes”, *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, vol. 21, no. 3, pp. 405-414.
- [3] Calise F., U. Eicker, J. Schumacher y M. Vicidomini (2020) “Wastewater Treatment Plant: Modelling and Validation of an Activated Sludge Process”, *Energies*, vol. 13, art. no. 3925.
- [4] Cartaxo S.J.M., P.F.G. Silvino y F.A.N. Fernandes (2014), “Transient analysis of shell-and-tube heat exchangers using an educational software”, *Education for Chemical Engineers*, vol. 9, no. 3, pp. e77-e84.
- [5] Cocosimulation (2022), “COCO: The Cape-Open to Cape-Open Simulator”, www.cocosimulator.org
- [6] Granjo J.F.O. y M.G. Rasteiro (2020) “Enhancing the autonomy of students in chemical engineering education with LABVIRTUAL platform”, *Education for Chemical Engineers*, vol. 31, pp. 21-28.
- [7] Huang D., H. Zhang, S. Weng, y M. Su (2016) “Modeling and Simulation of IGCC Considering Pressure and Flow Distribution of Gasifier”, *Applied Sciences*, vol. 6, no. 10, art. no. 292.
- [8] Idzham A., F. Mohd, y B. Mardhiyah (2018), “Dynamic Simulation of Petrochemical Wastewater Treatment Using Wastewater Plant Simulation Software”, *Matec Web of Conferences*, vol. 203, art. no. 03005.
- [9] Joao I.M. y J.M. Silva (2017) “Designing Solutions by a Student Centred Approach: Integration of Chemical Process Simulation with Statistical Tools to Improve Distillation Systems”, *International Journal of Engineering Pedagogy*, vol. 7, no. 3, pp. 4-18.
- [10] Khodadoost M. y J. Sadeghi (2011) “Dynamic Simulation of Distillation Sequences in Dew Pointing Unit of South Pars Gas Refinery”, *Journal of Chemical and Petroleum Engineering*, vol. 45, no. 2, pp. 109-116.
- [11] Kuzmić S. y A. Jukić (2015) “Dynamic Simulation of Batch Polymerization Reactor and Sensitivity Analysis of Styrene Homopolymerization”, *Kemija u industriji*, vol. 64, no. 3-4, pp. 151-167.
- [12] Lee Y., C. Ko, H. Lee, K. Jeon, S. Shin y C. Han (2017) “Interactive plant simulation modeling for developing an operator training system in a natural gas pressure-regulating station”, *Petroleum Science*, vol. 14, no. 3, pp. 529-538.
- [13] Li Q., W. Zhang, Y. Qin y A. An (2021) “Model Predictive Control for the Process of MEA Absorption of CO₂ Based on the Data Identification Model”, *Processes*, vol. 9, art. no. 183.
- [14] Lona M.F., F.A.N. Fernandes, M.C. Roque y S. Rodrigues (2000) “Developing an educational software for heat exchangers and heat exchanger networks projects”, *Computers and Chemical Engineering*, vol. 24, no. 2-7, pp. 1247-1251.
- [15] Luyben M. L. y W.L. Luyben (1996) *Essentials of process control*, Estados Unidos de América, Mc Graw Hill College
- [16] Meshalkin V., V. Bobkov, M. Dli, y V. Dovì (2019) “Optimization of Energy and Resource Efficiency in a Multistage Drying Process of Phosphate Pellets”, *Energies*, vol. 12, no. 17, art. no. 3376.
- [17] Molina R., G. Orcajo, Y. Segura, J. Moreno y F. Martínez (2021) “KMS platform: A complete tool for modeling chemical and biochemical reactors”, *Education for Chemical Engineers*, vol. 34, pp. 127-137, 2021.
- [18] Odedairo B. O. y N. Nwabuoeki (2018), "Framework for Operational Performance Measurements in Small and Medium Scale Industries Using Discrete Event Simulation Approach," *Engineering, Technology & Applied Science Research*, vol. 8, no. 4, pp. 3103-3107, <https://doi.org/10.48084/etasr.2106>.
- [19] Partono A.T. y P.M. Iqbal (2018) “Process Stability Identification Through Dynamic Study of Single-bed Ammonia Reactor with Feed-Effluent Heat Exchanger (FEHE)”, *Matec web of conferences*, vol. 156, art. no. 03003.
- [20] Patan A.K., M. Mekala, y S.K. Thamida (2018) “Dynamic Simulation of Heterogeneous Catalysis at Particle Scale to Estimate the Kinetic Parameters for the Pore Diffusion Model”, *Bulletin of chemical reaction engineering and catalysis*, vol. 13, no. 3, pp. 420-428.
- [21] Puskás J., A. Egedy y S. Németh (2018) “Development of operator training simulator for isopropyl alcohol producing plant”, *Education for Chemical Engineers*, vol. 22, pp. 35-43.
- [22] Riachi M.S., M. Duarte y J.A. Scortechini (2014) “Diseño de un simulador de procesos químicos para uso colaborativo y didáctico”, *Revista Electrónica formación y calidad educativa*, vol. 2, no. 1, pp. 71-82.
- [23] Ross S.M. (2012), *Simulation*, tercera edición, Estados Unidos de América:Academic Press.
- [24] Silviana S., F. Dalanta, A.D. Qurrota, L. Khoiriyah, N.P. Rousan, y A.M. Fahrizal (2020), “Design simulation and economic optimization of a benzene-toluene-xylene system distillation process upon the energy cost”, *E3s web of conferences*, vol. 202, art. no. 10003.
- [25] Wanotayaroj T., B. Chalermisinsuwan y P. Piumsomboon (2020), “Dynamic simulation and control system for chemical looping combustion”, *Energy Reports*, vol. 6, pp. 32-39.
- [26] Yu Y.H y D. Jenne (2018) “Numerical Modeling and Dynamic Analysis of a Wave-Powered Reverse-Osmosis System”, *Journal of marine science and engineering*, vol. 6, no. 4, art. no. 132.



Comparación de resultados entre el método numérico y cálculo analítico en propuesta de sección transversal para un eje de rueda delantera de kart

Cortes Quero Sergio Eduardo*, **Guillermo Urriolagoitia Sosa****, **Beatriz Romero Ángeles*****,
Jacobo Martínez Reyes****, **Juan Eduardo Lopez Carrillo*******

RESUMEN

Un eje, es un elemento mecánico que soporta uno o varios elementos transmisores de movimiento rotatorio y/o potencia desde la fuente de poder o en su caso a elementos de giro libre como poleas, baleros o engranes. El análisis y diseño de un eje dependen de la forma de aplicarle la carga y de soportarlo. El eje se ve sometido a fuerzas en dirección transversal o perpendicular debido a la carga que ejercen los elementos montados en él, como resultado se generan momentos de flexión dentro de él y si a esta flecha se le aplica un par de giro, se puede decir que este elemento está sometido a esfuerzos combinados. Por esta razón, se realiza el análisis de la adecuada selección de una geometría que resista los esfuerzos a los que se ve sometido un eje que soporta una rueda de karting. Se llevará a cabo un análisis numérico mediante un software de análisis de Elemento Finito y se realizarán los cálculos de manera analítica para analizar, comparar y exponer los resultados obtenidos en cada uno.

ABSTRACT

A shaft is a mechanical element that supports one or several elements that transmit rotary motion and/or power from the power source or, where appropriate, free-rotating elements such as pulleys, bearings, or gears. The analysis and design of a shaft depend on the way to apply the load and to support it. The shaft is subjected to forces in the transverse or perpendicular direction due to the load exerted by the elements mounted on it, as a result bending moments are generated within it and if a torque is applied to this shaft, it can be said that this element is subjected to combined forces. For this reason, the analysis of the adequate selection of a geometry that resists the efforts to which an axle that supports a karting wheel is subjected is carried. A numerical

analysis will be carried out using Finite Element analysis software and the calculations will be carried out analytically to analyze, compare and present the results obtained in each one.

Palabras claves: Eje, Viga, Elemento finito, Diseño, Esfuerzos, Karting.

INTRODUCCIÓN

La importancia de un análisis adecuado sobre un elemento mecánico que va a ser diseñado, se enfoca en garantizar que sea seguro, que cumpla con su propósito en el sistema y que sea estable al momento de recibir las cargas externas que serán ejercidas en él (Mott, 2009). La falla del elemento puede presentarse desde la deformación hasta la fractura y un diseño adecuado busca evitar que esto se presente (Beer, 2009). Para este caso de estudio, se ha elegido un eje delantero que monta la rueda de un vehículo kart, que es un monoplaza utilizado principalmente en circuitos de aficionados y profesionales (Pesántez, 2012).

ANTECEDENTES

Un go kart es un pequeño vehículo de 4 ruedas montadas en un chasis sin suspensión y puede ser propulsado por un motor de combustión interna; se usa principalmente en circuitos de competición. En 1956 Art Ingels construyó lo que hoy conocemos como el primer kart de la historia, aunque su creador no podía imaginar lo que llegaría a ser (Villacreses, 2010). Lo armó, colocando a un chasis tubular, el motor de dos tiempos de una cortadora de césped y además colocó cuatro llantas, lo que hizo de este simple vehículo algo muy llamativo en su época, pues 3 hombres llamados: Duffy Livingstone, Desbrow Roy y Bill Rowels crearon sus propios karts y fundaron una empresa llamada Go-Kart Manufacturing Company, vendiendo sus creaciones a bajo costo. Se organizaron competencias con estos vehículos a nivel nacional y poco a poco se fueron extendiendo en popularidad y en 1962 se creó la Comisión Internacional del Karting que está regulada por la Federación Internacional del Automovilismo (FIA). El karting da origen a los jóvenes para que aprendan a conducir y no solo eso, es una disciplina que permite dar el siguiente paso en la competición o simplemente se puede ser un aficionado donde lo único que importa es la diversión y el placer por conducir (Ruipérez, 2021).

Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Sección de Estudios de Posgrados e Investigación unidad Zacatenco.

* scortesq2300@alumno.ipn.mx

**guiurri@hotmail.com

***bromeroa@ipn.mx

****jmartinezzr0617@ipn.mx

*****ing.juan046@gmail.com





DESARROLLO

El análisis va enfocado a obtener una sección transversal del eje delantero donde se monta la rueda que soporte las cargas implicadas. El eje delantero de un kart interactúa con las bieletas de la dirección, rótulas, que permiten el giro por ser ruedas directrices además de los baleros de la rueda que es el medio por el que se conectan con el conjunto rueda-neumático. Es importante mencionar que el eje delantero de este kart no recibe la potencia del motor, ya que el eje trasero es quien recibe y transmite esa fuerza que hace desplazar el vehículo. Por tal razón este elemento mecánico no se encuentra sometido a esfuerzos de torsión, simplemente a los esfuerzos de flexión provocados por las cargas aplicadas. En la figura 1 se pueden observar los principales componentes que interactúan con el eje delantero del kart.

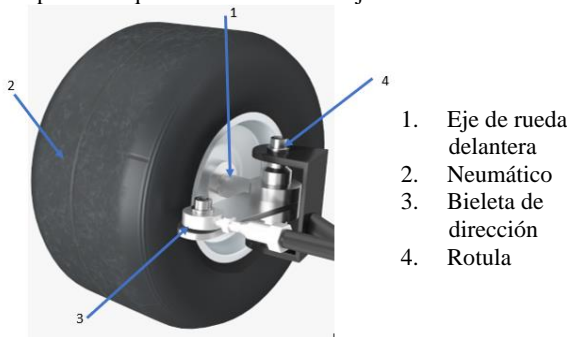


Figura 1.- Principales componentes en eje delantero (Fuente: Autoría propia)

Existe una diferencia sobresaliente entre rines delanteros y traseros, por el hecho de que los traseros tienen que conectarse al eje que transmite par motor mientras que los delanteros solo poseen el espacio interno para los rodamientos que permiten el libre giro y acoplamiento en el eje delantero (Carrión, 2019). La figura 2 muestra un rin de uso común para el eje delantero donde pueden apreciarse al centro los rodamientos, que varían en diámetro interno de manera comercial y por tal motivo se analiza esta problemática, para encontrar el diámetro mínimo que debe poseer la sección transversal del eje.



Figura 2.- Rin delantero para kart (Fuente: Autoría propia)

CÁLCULO ANALÍTICO.

Se considera una masa de 100 kg para el piloto y una masa de 20 kg para el kart, se tiene un peso total (WT):

$$WT = (\text{masa piloto} + \text{masa kart}) (\text{gravedad}) \quad (1)$$

$$WT = (100 \text{ Kg} + 20 \text{ Kg}) (9.81 \text{ m/s}^2) = 1,177.20 \text{ N}$$

El peso total (WT) actúa en el centro de gravedad del vehículo y para determinar el valor de la reacción en el eje delantero (RD) y en el eje trasero (RT) se hace una sumatoria de fuerzas y sumatoria de momentos según las dimensiones del kart. El diagrama de cuerpo libre (D.C.L.) se muestra en la Figura 3.

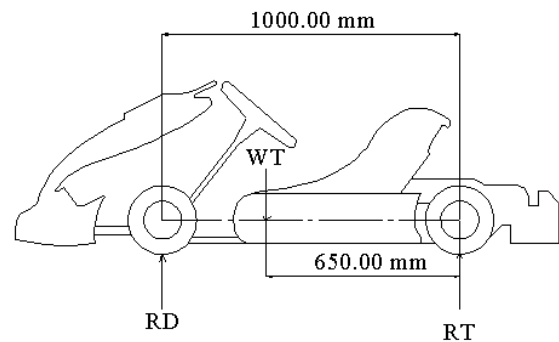


Figura 3.- D.C.L. Kart (Fuente: Autoría propia)

$$\Sigma F_y = RD - WT + RT = 0 \quad (2)$$

$$\Sigma M_T = WT (0.65 \text{ m}) - RD (1 \text{ m}) = 0 \quad (3)$$

$$\Sigma M_T = (1,177.20 \text{ N}) (0.65 \text{ m}) - RD (1 \text{ m}) = 0$$

$$RD = 765.18 \text{ N}$$

Ahora se despeja el valor de RT , de la fórmula de sumatoria de fuerzas en y:

$$RT = WT - RD \quad (4)$$

$$RT = 1177.20 \text{ N} - 765.18 \text{ N}$$

$$RT = 412.02 \text{ N}$$

Para realizar el análisis del eje, conviene aislar únicamente los componentes de interés, ya que se simplifica el elemento de estudio si se analiza como una viga en voladizo, donde el eje se encuentra empotrado al chasis y las reacciones RB y RC están soportadas en los baleros de rueda, realizar un diagrama (Figura 4) permite identificar componentes que deben ser considerados.

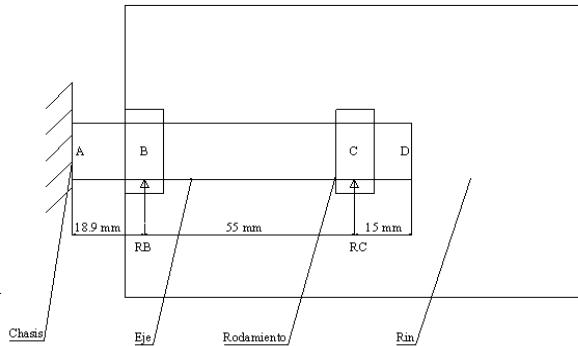


Figura 4.- Componentes de interes (Fuente: Autoría propia)

Cada rin delantero del kart, posee dos apoyos donde se instalan rodamiento para la flecha y dado que monta dos ruedas por eje, el valor calculado de la reacción en el eje delantero que es $RD = 765.18 \text{ N}$ se divide entre cuatro para obtener el valor de la reacción en cada apoyo, las que se denominan RB y RC respectivamente.

$$RB = RC = RD/4 \quad (5)$$

$$RB = RC = 765.18 \text{ N} / 4 = 191.29 \text{ N}$$

En la figura 5 se muestra el diagrama de cuerpo libre (D.C.L.) de manera aislada para el componente que interesa estudiar, se aprecia que es una viga en voladizo afectada por dos reacciones (RB y RC) aplicadas en el contacto del eje y del rin, mientras que el empotramiento se da en el lado izquierdo debido a que en este lugar se fija al chasis, las distancias se tomaron directamente del rin.

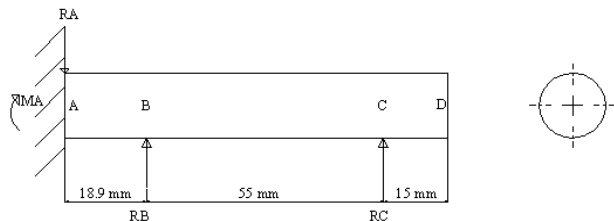


Figura 5.- D.C.L. (Fuente: Autoría propia)

Se hace uso de estática con sumatoria de fuerzas y sumatoria de momentos para determinar el valor de la reacción y del momento flector en el apoyo pues, en el caso de vigas en voladizo, las reacciones en el empotramiento se componen de una fuerza dirigida hacia arriba que equilibra las fuerzas que actúan hacia abajo o viceversa.

Cabe mencionar que las fuerzas aplicadas hacia arriba se van a considerar positivas y los momentos en sentido horario son positivos.

$$\sum Fy = -RA + RB + RC \quad (6)$$

Despejando RA :

$$RA = RB + RC \quad (7)$$

$$RA = 191.295 \text{ N} + 191.295 \text{ N} = 382.59 \text{ N}$$

Haciendo sumatoria de momentos igual a cero:

$$\sum M = -RB(18.9 \text{ mm}) - RC(55 \text{ mm} + 18 \text{ mm}) + MA = 0 \quad (8)$$

Despejando MA :

$$MA = 191.295 \text{ N}(18.9 \text{ mm}) + 191.295 \text{ N}(73.9 \text{ mm}) \quad (9)$$

$$MA = 17,752.17 \text{ Nmm}$$

Se procede a calcular las fuerzas cortantes (V) que son generadas al interior del material de la viga y sirven para equilibrar todas sus secciones, además la magnitud de la fuerza cortante es la suma algebraica de todas las fuerzas externas que actúan a la izquierda de la sección de interés. También se calcula el momento flexionante interno que se genera en el material para equilibrar la tendencia de las fuerzas externas que hacen girar cualquier parte de ella. Se utiliza el método de secciones para encontrar los valores de fuerzas cortantes.

En la figura 6 se muestra la sección "A" para determinar fuerzas cortantes (V) y momento flector.

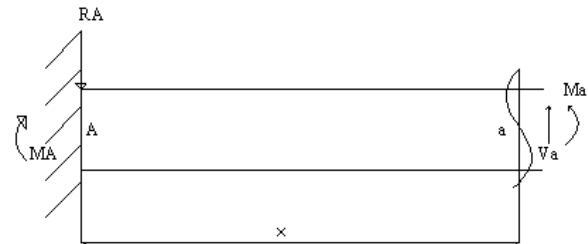


Figura 6.- Sección A (Fuente: Autoría propia)

$$\sum Fy = -RA - Va = 0 \quad (10)$$

$$Va = -RA = -382.59 \text{ N}$$

$$\sum M = MA - Ma - RA(x) = 0 \quad (11)$$

Despejando:

$$Ma = MA - RA(x) \quad (12)$$

Esta ecuación es válida en $0 < x < 18.9 \text{ mm}$

Si $x = 0$

$$Ma = MA - RA(0) = 17,752.17 \text{ Nmm}$$

Si $x = 18.9 \text{ mm}$

$$Ma = MA - RA(18.9 \text{ mm}) =$$

$$Ma = 17,752.176 \text{ Nmm} - 382.59 \text{ N}(18.9 \text{ mm}) =$$

$$Ma = 10,521.22 \text{ Nmm}$$

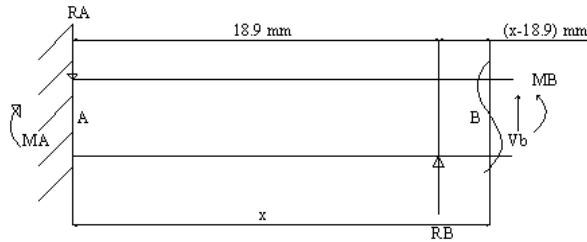


Figura 7.- Sección B (Fuente: Autoría propia)

$$\sum Fy = - RA + RB - Vb = 0 \quad (13)$$

$$Vb = - 382.59 N + 191.29 N = - 191.30 N$$

$$Mb = MA - RA(x) + RB(x-18.9 mm) \quad (14)$$

Esta ecuación es válida en $18.9 \text{ mm} < x < 73.9 \text{ mm}$

Si $x = 18.9 \text{ mm}$

$$Mb = 17,752.176 \text{ Nmm} - 382.59 N(18.9 \text{ mm}) + 191.295 N (0) = 10,521.22 \text{ Nmm} \quad (15)$$

Si $x = 73.9 \text{ mm}$

$$Mb = 17,752.176 \text{ Nmm} - 382.59 N(73.9 \text{ mm}) + 191.295 N (73.9 \text{ mm} - 18.9 \text{ mm}) = 0 \quad (16)$$

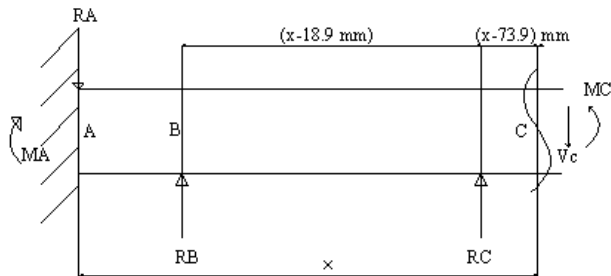


Figura 8.- Sección C (Fuente: Autoría propia)

$$\sum Fy = - RA + RB + RC + Vc = 0 \quad (17)$$

$$Vc = RA - RB - RC = 382.59 N - 191.295 N - 191.295 N = 0$$

$$Mc = MA - RA(x) + RB(x-18.9 mm) + RC (x - 73.9 mm) \quad (18)$$

Esta ecuación es válida en $73.9 \text{ mm} < x < 88.9 \text{ mm}$

Si $x = 73.9 \text{ mm}$

$$Mc = 17,752.176 \text{ Nmm} - 382.59 N(73.9 \text{ mm}) + 191.295 N (73.9 \text{ mm} - 18.9 \text{ mm}) + 191.295 N(73.9 \text{ mm} - 73.9 \text{ mm}) = 0 \quad (19)$$

Si $x = 88.9 \text{ mm}$

$$Mc = 17,752.176 \text{ Nmm} - 382.59 N(88.9 \text{ mm}) + 191.295 N(88.9 \text{ mm} - 18.9 \text{ mm}) + 191.295 N(88.9 \text{ mm} - 73.9 \text{ mm}) = 0 \quad (20)$$

Es necesario graficar los valores obtenidos de fuerzas cortantes internas y momentos flectores pues existen zonas de gran importancia con respecto al eje "x" que es la distancia de la viga donde se aplican fuerzas o cargas con respecto al empotramiento, mediante estas imágenes se puede apreciar el comportamiento en cada región de interés.

En las siguientes figuras se muestran los diagramas de fuerza cortante (Figura 9) y momento flector (Figura 10)

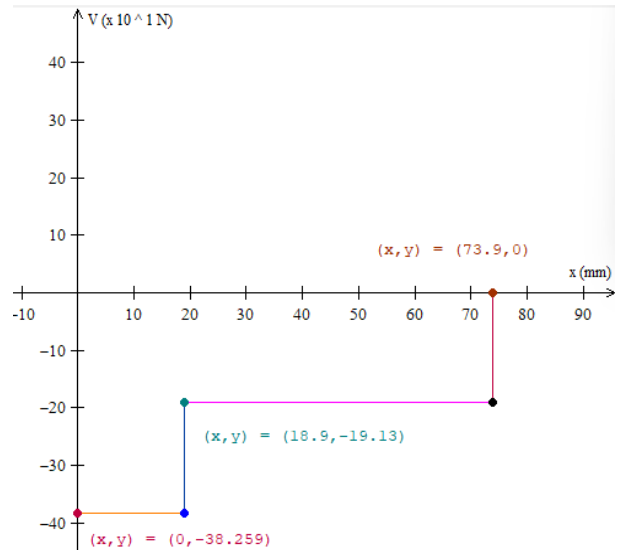


Figura 9. Diagrama de fuerza cortante (Fuente: Autoría propia)

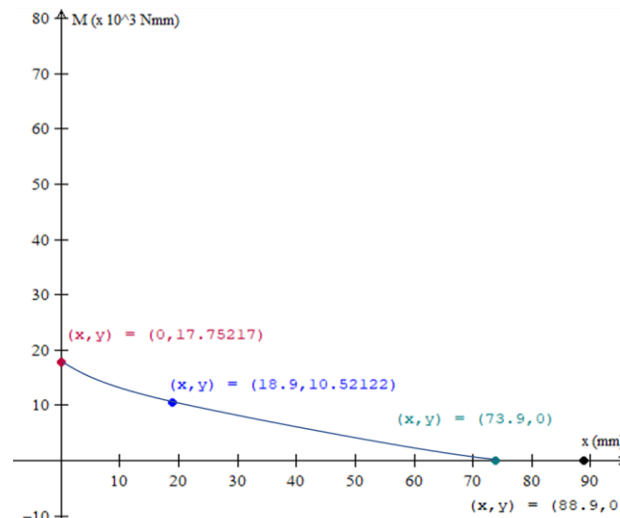


Figura 10. Diagrama de momento flector (Fuente: Autoría propia)



Se sabe que para obtener el valor del esfuerzo se puede utilizar la fórmula de flexión:

$$\sigma_{\text{máx.}} = (Mc) / I \quad (21)$$

Donde:

$\sigma_{\text{máx.}}$ = es el esfuerzo máximo

M = Momento flector máximo

I = momento de inercia

c = distancia del eje neutro a la fibra más alejada de la sección.

Sin embargo, se puede definir el módulo de sección como:

$$S = I / c \quad (22)$$

Por lo tanto, la formula del esfuerzo máximo se puede expresar:

$$\sigma_{\text{máx.}} = M / S \quad (23)$$

Para proceder a calcular el diámetro de la sección transversal se propone un material acero ASTM A36 con una resistencia a la cedencia “ S_y ” de 248 MPa y una resistencia máxima “ S_u ” de 400 N/mm²

Para elegir un esfuerzo de diseño se han utilizado especificaciones propuestas por el *American Institute of Steel Construction* (AISC) tabla 1.

Tabla 1.- Tabla de instrucciones para determinar el esfuerzo de diseño-esfuerzos flexionantes. (Fuente: Mott, 2009)

Patron de carga	Material dúctil	Material frágil
Estática	$\sigma_d = S_y / 2$	$\sigma_d = S_u / 6$
Repetida	$\sigma_d = S_u / 8$	$\sigma_d = S_u / 10$
Impacto o choque	$\sigma_d = S_u / 12$	$\sigma_d = S_u / 15$

Según la tabla anterior se propone un patrón de carga “Repetida” en un material dúctil para proponer un esfuerzo de diseño:

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{diseño}} &= S_u / 8 \\ \sigma_{\text{diseño}} &= 400 \text{ N/mm}^2 / 8 = 50 \text{ N/mm}^2 \end{aligned} \quad (24)$$

El factor de seguridad (FS) utilizado es igual a:

$$\begin{aligned} FS &= \text{Esfuerzo máximo} / \text{Esfuerzo de diseño} \\ FS &= 400 \text{ N/mm}^2 / 50 \text{ N/mm}^2 = 8 \end{aligned} \quad (25)$$

Haciendo del esfuerzo de diseño el esfuerzo máximo y se toma el valor del momento máximo previamente calculado, se procede a despejar el módulo de sección:

$$\begin{aligned} S &= M / \sigma_{\text{máx.}} = M / \sigma_{\text{diseño}} \\ S &= 17,752.176 \text{ Nmm} / (50 \text{ N/mm}^2) = 355.04 \text{ mm}^3 \end{aligned} \quad (26)$$

El momento de inercia (I) se calcula de la siguiente manera para una sección circular:

$$I = (\pi D^4) / 64 \quad (27)$$

El valor de:

$$c = D / 2 \quad (28)$$

Así que el módulo de sección se puede expresar en los siguientes términos:

$$S = I / c = ((\pi D^4) / 64) / (D / 2) \quad (29)$$

Para encontrar el valor del diámetro:

$$\begin{aligned} 355.04 \text{ mm}^3 (D / 2) &= (\pi D^4) / 64 \\ (177.52 \text{ mm}^3) (64) (D) &= \pi D^4 \\ ((177.52 \text{ mm}^3) (64)) / \pi &= D^4 / D = D^3 \end{aligned} \quad (30)$$

Así que:

$$D = \sqrt[3]{(3,616.40 \text{ mm}^3)} = 15.34 \text{ mm}$$

El diámetro mínimo que debe utilizarse para la flecha, es de 15.34 mm para soportar los esfuerzos de manera segura y ya que el valor comercial más próximo es de 5/8” o 15.875 mm y es el que se considera para los cálculos de aquí en adelante.

Considerando este diámetro se puede hallar el valor de área (A), el momento de inercia (I) y la distancia a la fibra mas alejada de la viga (c):

$$A = (\pi D^2) / 4 = (\pi (15.875 \text{ mm})^2) / 4 = 197.93 \text{ mm}^2 \quad (31)$$

$$I = (\pi D^4) / 64 = (\pi (15.875 \text{ mm})^4) / 64 = 3,117.63 \text{ mm}^4 \quad (32)$$

$$c = D / 2 = 15.875 / 2 = 7.94 \text{ mm} \quad (33)$$

El esfuerzo se calcula de la formula (21) con los valores que ya se tienen:

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{máx.}} &= (Mc) / I = ((17,752.17 \text{ Nmm}) (7.94 \text{ mm})) / 3,117.63 \text{ mm}^4 \\ \sigma_{\text{máx.}} &= 45.21 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

PENDIENTE Y CURVA ELÁSTICA

Se calcula el valor de la pendiente y de la curva elástica mediante funciones de singularidad, sin embargo, se puede utilizar otro método para hallar estos valores.

Se considera la ecuación de la fuerza cortante:

$$V(x) = -382.59(x-0)^0 + 191.295(x-18.9)^0 + 191.295(x-73.9)^0 \quad (34)$$

Mediante este método se utilizan los paréntesis y los valores dentro se omiten si su valor es cero o menor a cero y solo si es positivo ese valor se utiliza. Si se integra la ecuación $V(x)$ se obtiene la ecuación de momento, pero se debe agregar el valor del momento que existe en el empotramiento para que quede completa:



$$\int V(x) = M(x) = 17,752.176 (x-0)^0 - 382.59 (x-0) + 191.295 (x-18.9) + 191.295 (x-73.9) \quad (35)$$

Ahora se integra esta ecuación para obtener el valor del ángulo de inclinación que es:

$$\int M(x) = EI (dy/dx) = 17,752.176x - (382.59/2)(x-0)^2 + (191.295/2)(x-18.9)^2 + (191.295/2)(x-73.9)^2 + C1 \quad (36)$$

Para encontrar el valor de flecha (y) se integra la ecuación anterior:

$$\int EI (dy/dx) = EIy = (17,752.176 / 2) x^2 - (382.59 / 6)(x-0)^3 + (191.295 / 6)(x-18.9)^3 + (191.295 / 6)(x-73.9)^3 + C1x + C2 \quad (37)$$

Se aplican las condiciones de frontera para conocer el valor de las constantes de integración C1 y C2. Pues se sabe que cuando x=0; dy/dx=0; por ser viga en voladizo pues en el empotramiento el valor debe ser cero.

Se sustituye en la ecuación (35) y se obtiene:

$$\int M(x) = EI (d(0)/dx) = (17,752.176 (0) - (382.59 / 2) (0-0)^2 + (191.295/2) (0-18.9)^2 + (191.295/2) (0-73.9)^2 + C1 \quad (38)$$

Cabe señalar que en este método el valor cero o menor a cero dentro de los paréntesis se omite y por lo tanto el valor de la constante C1=0.

Para conocer el valor de C2 se aplica la condición de frontera donde si x=0 el valor de y o de la flecha es cero debido al empotramiento así que sustituyendo en (36):

$$\int EI (dy/dx) = EI(0) = (17,752.176 / 2) (0)^2 - (382.59 / 6)(0-0)^3 + (191.295 / 6)(0-18.9)^3 + (191.295 / 6)(0-73.9)^3 + C1(0) + C2 \quad (39)$$

Por lo tanto, el valor de C2 = 0.

Ahora que ya se conoce el valor de las constantes de integración se puede calcular el valor de la flecha máxima si se considera que esta se tiene en el extremo en voladizo, es decir cuando x=88.9 mm.

Sustituyendo en (36):

$$\int EI (dy/dx) = EIy = (17,752.176 / 2) (88.9)^2 - (382.59 / 6)(88.9-0)^3 + (191.295 / 6)(88.9-18.9)^3 + (191.295 / 6)(88.9-73.9)^3 + (0)(88.9) + 0 \quad (40)$$

$$EIy = 36,391,894.68 \text{ Nmm}^3 \quad (41)$$

Considere el módulo de elasticidad (E):

$$E = 200,000 \text{ N/mm}^2 \text{ para el acero ASTM A36}$$

Despejando y considerando el valor de I (32):

$$y = (36,391,894.68 \text{ Nmm}^3) / ((200,000 \text{ N/mm}^2) (3,117.63 \text{ mm}^4)) \quad (42)$$

$$y = y_{\text{máx}} = 0.0583 \text{ mm} \quad (43)$$

ANÁLISIS NUMÉRICO.

Ahora que se han obtenido los valores de fuerza cortante, momento flector y flecha máxima de manera analítica se procede a verificar mediante software de Elemento Finito. Para el análisis se utiliza el programa ANSYS® APDL versión Student, es una herramienta que permite una aproximación matemática a la solución, en el apartado estructural hay un interés particular en obtener los diagramas de fuerza cortante, momento flector, flecha máxima, así como el valor de la reacción de la viga y el valor del esfuerzo para llevar a cabo la comparación de resultados.

Se selecciona un análisis de tipo “estructural”. Se selecciona el apartado “vigas”. Se definen las propiedades del material como son el módulo de elasticidad de 200,000 N/mm² y la relación de Poisson de 0.28. Dentro del apartado vigas el software nos permite elegir entre diversos perfiles, para el caso de este análisis se selecciona un perfil circular sólido con el diámetro de 15.34 mm que fue encontrado en la sección analítica como se muestra en la figura 11.

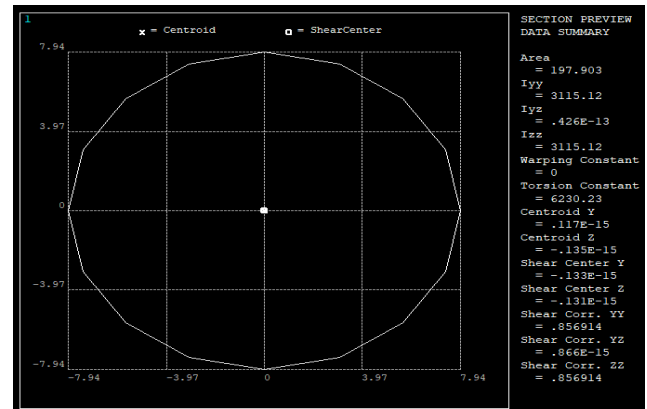


Figura 11. Sección transversal del eje (Fuente: ANSYS® APDL)

Se debe discretizar nuestro elemento y aplicar los agentes externos, tanto de restricción como las reacciones perpendiculares RB y RC.

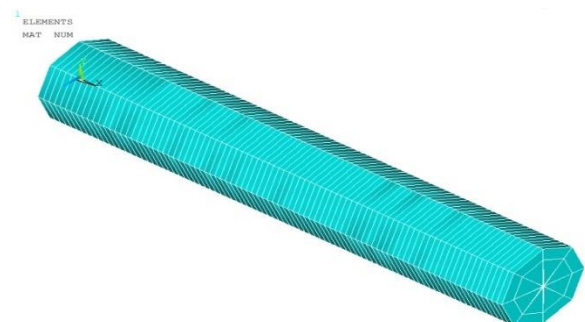


Figura 12. Discretizado de eje (Fuente: ANSYS® APDL)

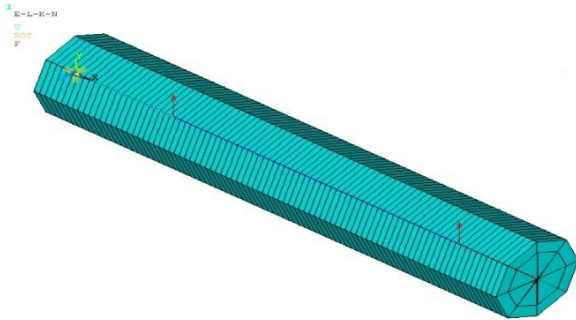


Figura 13. Definición de cargas y restricciones
(Fuente: ANSYS® APDL)

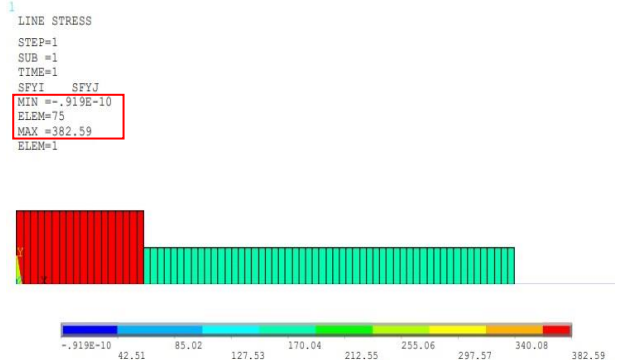


Figura 16. Diagrama de fuerza cortante
(Fuente: ANSYS® APDL)

Una vez hecho lo anterior se manda a resolver el modelo y se consulta el valor de la reacción RA, del esfuerzo, de la fuerza cortante, momento flector y flecha máxima:

```
PRINT REACTION SOLUTIONS PER NODE

**** POST1 TOTAL REACTION SOLUTION LISTING ****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

THE FOLLOWING X,Y,Z SOLUTIONS ARE IN THE GLOBAL COORDINATE SYSTEM

NODE   FX   FY   FZ   MX   MY   MZ
1     0.0000 -382.58  0.0000 -0.97427E-015  0.46027E-013 -17752.

TOTAL VALUES
VALUE  0.0000 -382.58  0.0000 -0.97427E-015  0.46027E-013 -17752.
```

Figura 14. Valor de la reacción en punto A
(Fuente: ANSYS® APDL)

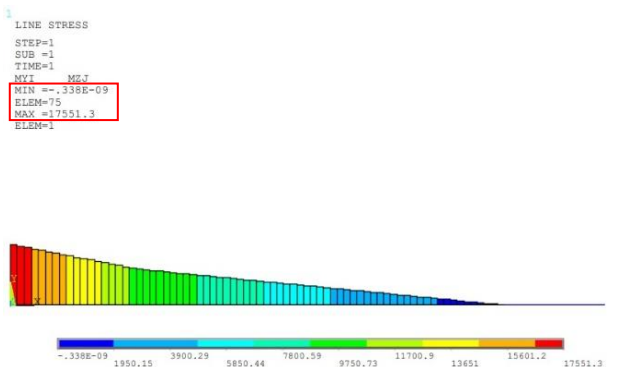


Figura 17. Diagrama de momento flector
(Fuente: ANSYS® APDL)

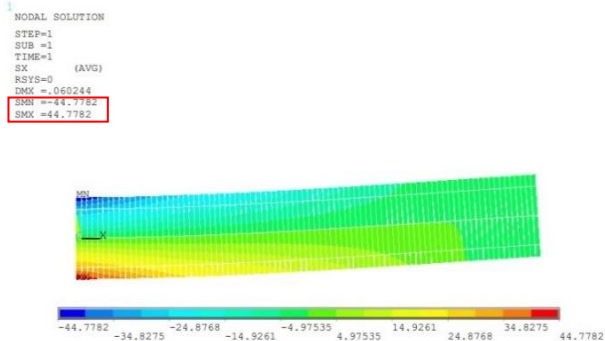


Figura 15. Valor del esfuerzo (Fuente: ANSYS® APDL)

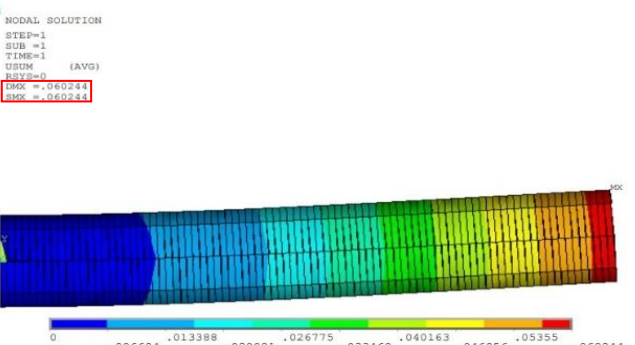


Figura 18. Diagrama de flecha máxima
(Fuente: ANSYS® APDL)

RESULTADOS

A continuación, se muestra una tabla donde se simplifican y comparan los resultados obtenidos en el análisis del eje delantero.



Tabla 2.- Valores obtenidos analítica y numéricamente.
(Fuente: Autoría propia)

	Analítico	ANSYS® APDL
Reacción en A	382.59 N	382.58 N
Momento flexionante máximo	17,752.17 Nmm	17,551.3 Nm
Cortante máximo	382.59 N	382.58 N
Cortante mínimo	0 N	0 N
Flecha máxima	0.0583 mm	0.0602 mm
Esfuerzo	45.21 N/mm ²	44.731 N/mm ²

CONCLUSIÓN

En conclusión, este estudio de investigación ha demostrado la importancia del análisis y diseño adecuado del eje delantero en un kart para garantizar la seguridad, funcionalidad y estabilidad del sistema. A lo largo de la investigación, se ha enfatizado la necesidad de considerar la forma de aplicar la carga y cómo se soporta el eje, centrándose en seleccionar una forma geométrica adecuada que pueda resistir los esfuerzos a los que estará sometido. El uso de software de análisis por el Método de Elementos Finitos ha permitido comparar y exponer los resultados obtenidos, proporcionando una herramienta valiosa para evaluar el comportamiento del eje bajo la aplicación de cargas perpendiculares. Además, se ha destacado la importancia de un análisis cuidadoso del componente, ya que un diseño deficiente puede provocar deformaciones o fracturas en el mismo. En este estudio, se ha simplificado el análisis considerando el eje como una viga en voladizo, anclado en el chasis y soportando cargas en los rodamientos de la rueda. Al aplicar los principios de estática, se han determinado las fuerzas en los elementos del eje, buscando una aproximación realista tanto en el software de análisis como en los cálculos previos. En síntesis, los datos obtenidos han sido muy aproximados por ambos métodos, lo que indica que el tener acceso a un software de Elementos Finitos como ANSYS® APDL resulta de gran utilidad en el ahorro de recursos como tiempo y experimentación en el análisis y diseño del eje delantero, lo que permite asegurar el rendimiento óptimo del kart y la seguridad de sus ocupantes.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

1. Mott, R. L. (2009). *Resistencia de Materiales*, México Pearson/Prentice Hall.
2. Beer F. P. y Johnston E. R. (2009) *Mecánica de Materiales*, México, Editorial McGraw Hill Education.
3. Pesántez Angulo, V. F. (2012). Proyecto de factibilidad para la creación de una empresa de entretenimiento con vehículos monoplaça (Karting) en el cantón Rumiñahui (Bachelor's thesis).

4. Villacreses González, D. A. (2010). Estudio del proceso de ensamble de un Go-Kart de circuito cerrado y la factibilidad de realizar el intercambio de partes en su estructura fibral (Bachelor's thesis, Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ambato).
5. Ruipérez Benito, A. (2021). Guía para la construcción de: "instalaciones deportivas: pista de karting".
6. Carrión Salazar, M. A. (2019). Diseño y construcción de Go-kart para personas con discapacidad física en sus extremidades inferiores (Bachelor's thesis, Quito, 2019).

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Sergio Eduardo Cortes Quero: Alumno de Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica del Instituto Politécnico Nacional, ESIME, SEPI Zacatenco México.

Juan Eduardo Lopez Carrillo: Ingeniero Mecatrónico egresado de la Universidad Tecnológica de Durango. Actualmente Alumno de Maestría en Ciencias en Ingeniería mecánica en la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional en México.

Guillermo Urriolagoitia Sosa: Ingeniero Mecánico egresado de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Adolfo López Mateos "Zacatenco". Maestría En Ciencias en el área de Diseño Mecánico con tema en Mecánica de la Fractura en la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional. Maestría en Ingeniería Mecánica con tema en Fatiga por Frotamiento Egresado de la Universidad de Oxford Brookes. PhD Doctorado en filosofía con tema de Esfuerzos Residuales en la Universidad de Oxford Brookes. Actualmente Profesor Investigador de la sección de Estudios de Posgrado e Investigación en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional.

Beatriz Romero Ángeles: Ingeniero Mecánico egresada de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Unidad Adolfo López Mateos "Zacatenco". Maestría en Ciencias en Mecánica no Lineal en la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional. Doctorado en Arresto de Grietas en la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Actualmente Profesor Investigador de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional.

Jacobo Martínez Reyes: Doctor en física de los materiales por la Escuela Superior de Matemáticas.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Politécnico Nacional por ser la escuela que me ha permitido adquirir nuevos conocimientos y motivarme a ser mejor. Al CONAHCYT por proporcionar el apoyo en mi formación profesional.



Prototipos didácticos para las competencias profesionales con ApD

**Omar García De La Rosa¹, María de Lourdes Olivares Estrada², Leonardo Ceciliano Hernández³,
Ignacio Castro Zamora⁴ y Héctor García de la Rosa⁵**

RESUMEN

Dentro de los objetivos de la Nueva Escuela Mexicana se encuentra el poder contar con planes de estudio que promueva el conocimiento de ciencias, tecnología y la innovación. Para contribuir con ello en la educación tecnológica del nivel superior, el Tecnológico Nacional de México ofrece en algunos de sus planteles educativos la carrera de Ingeniería Electromecánica. En el Instituto Tecnológico de Toluca con las asignaturas de máquinas y equipos térmicos en las que se implementa como estrategia didáctica el desarrollo de prototipos didácticos y aplicación de Aprendizaje por Descubrimiento (ApD) para que el estudiante, explore y descubra sin temor alguno el funcionamiento, operación y mantenimiento de los automóviles; después se desarrollan situaciones auténticas con prácticas de laboratorio en autos reales y posteriormente se sitúan en un escenario real para complementar la adquisición del conocimiento, lo que ha mostrado bastante interés por continuar y profundizar sobre temas de dicha área.

ABSTRACT

Resumen. Se debe incluir un resumen el cual debe contener Among the objectives of the New Mexican School is to be able to have study plans that promote knowledge of science, technology and innovation. To contribute to it, In technological education at the higher level, the Tecnológico Nacional de México offers in some of its educational establishments, the Electromechanical Engineering career, at the Instituto Tecnológico de Toluca, in which the development of didactic prototypes and application of Learning by Discovery (ApD) is implemented as a didactic strategy so that the student, explore and discover without fear the operation, operation and maintenance of cars, then authentic

situations are developed with laboratory practices in real cars and later they are placed in a real scenario to complement the acquisition of knowledge.

Palabras claves: Enseñanza, Conocimiento, Competencias Profesionales, Prototipo Didáctico y Aprendizaje por Descubrimiento.

INTRODUCCIÓN

La construcción de prototipos didácticos en conjunto con el aprendizaje por descubrimiento (ApD) parece ser un binomio académico de éxito en la enseñanza de la Ingeniería Electromecánica y particularmente en asignaturas de Máquinas y equipos Térmicos en la que alguna de las competencias profesionales es que el alumno realice mantenimiento preventivo y correctivo de las áreas mecánicas, eléctricas y electrónicas del automóvil tomando en cuenta las especificaciones del automóvil. De acuerdo con Hernández (2005), pueden surgir de ideas de desarrollo de experimentos como una estrategia de innovación, utilizando el desarrollo de estos proyectos como una plataforma pedagógica logrando en los alumnos un aprendizaje significativo. Por otra parte, Rojas, Moreno y Calixto (2012), comentan que la realización de prototipos es una forma de promover los peldaños de una competencia como el de aprender a aprender complementando con ello la formación integral de los educandos combinando con ello la teoría con la práctica en las diferentes actividades académicas. Tomando la opinión de Torres (2014), en que se pueden usar como una estrategia de enseñanza-aprendizaje que nos permiten dimensionar la forma en que se manufacturan los sistemas y se pueden considerar como una integración didáctica de diferentes eventos como el diseño, operación, fabricación, caracterización y la evaluación con bases conceptuales. A si mismo Bermúdez, Gallego y Fabio (2011) mencionan que el uso de prácticas experimentales bajo la aplicación de prototipos es una forma de acercamiento a las ciencias y que permiten el manejo de datos así como la interpretación de los fenómenos físicos

El aprendizaje por descubrimiento se enfoca en las habilidades lectoras y verbales teniendo como herramientas principales la observación, la comparación y el análisis; El proceso es guía para que el estudiante desarrolle su propia ruta de adquisición de conocimientos de una manera activa conservando la información adquirida. De acuerdo con Pardo S. F. (2013), muchos

¹ Instituto Tecnológico de Toluca, Departamento de Ingeniería Electromecánica, omargarcia_1978@hotmail.com, Dr. En Administración y Políticas Públicas, ² Centro de Bachillerato Tecnológico GEM, Departamento de Autotróica, mloe09@yahoo.com.mx, Dr. En Administración y Políticas Públicas ³ Instituto Tecnológico de Toluca, Departamento de Ingenierías, lcecilianoh@yahoo.com.mx, M. en C. (Física), ⁴ Instituto Tecnológico de Toluca, Departamento de Ingenierías Electromecánica, castrozignacio@gmail.com, Ing. Electricista y ⁵ Instituto Tecnológico de Toluca, Departamento de Ingeniería Electromecánica, hegar71@yahoo.com.mx, Dr. En Administración y Políticas Públicas.



psicólogos han estudiado el proceso del aprendizaje como un proceso cognitivo del tratamiento de la información, por ejemplo, para Piaget la capacidad de adquirir conocimientos o de aprender dependerá principalmente del nivel de desarrollo cognitivo del sujeto. Mientras que Vigotsky establece que se aprende a pensar directamente y de acuerdo con el contexto en el que se vive y que este aprendizaje debe preceder al desarrollo. Por otra parte, Ausbel establece un aprendizaje significativo en el que el alumno relacione la información nueva que percibe con los conocimientos previos que se encontraban almacenados en su estructura cognitiva. También Elizalde et. al. (2010) comenta que al ofrecerle al alumno situaciones nuevas para él, en las que se siente libre, en las que puede interactuar directamente con el sistema que está conociendo, logra estimular la adquisición de su propio conocimiento debido a su iniciativa con lo que se logra estudiantes activos y altamente efectivos.

METODOLOGIA:

La metodología empleada en la enseñanza de las máquinas térmicas, es la de “Aprendizaje por Descubrimiento” bajo el cual se desarrollaron prototipos o módulos didácticos con la pretensión de que el estudiante construya y adquiera su propio conocimiento, esta técnica desarrollada por el Psicólogo Jerome Bruner* cuya tendencia u orientación es del tipo constructivista, en la que los alumnos deben aprender utilizando un descubrimiento dirigido mientras que se está desarrollando una exploración motivada por su propia curiosidad, que ha sido inducida por el docente; En esta técnica el Profesor se encarga de conducir al educando a la observación, comparación y el análisis de semejanzas y diferencias para que descubran cómo funcionan las cosas de una forma activa con lo que se produce un andamiaje de las estructuras de su conocimiento técnico-científico.

Por otra parte Machaca Q.C. y Samo P.F. (2018) comentan que el objetivo principal del método es que la asignatura parta de un entorno cercano al estudiante donde los temas a explorar se transformen en lecciones de vida atractivas e interesantes a la vez que el aprendizaje se va organizando y asimilando al mismo tiempo para ser utilizado en nuevos conocimientos. Lo que pretende esta metodología es fomentar que los estudiantes desarrollen al máximo las competencias profesionales y las capacidades sin recurrir a la memorización con la integración de valores e inteligencias múltiples.

El aprendizaje por descubrimiento apunta principalmente al desarrollo de las destrezas utilizando un método de tipo: a) Inductivo que se encarga de relacionar los datos, el contexto, el individuo y su capacidad cognoscitiva así como el ambiente inmediato; b) El descubrimiento deductivo que combina las ideas generales para llegar a un fin específico; c) El pensamiento transductivo en que el estudiante debe relacionar y/o comparar elementos particulares señalando los que son similares en uno o varios aspectos.

Para lograr el aprendizaje por descubrimiento se debe tener un conocimiento previo y claridad en el objetivo que se persigue y los medios atractivos para despertar su curiosidad. Es completamente

necesaria la motivación constante y desarrollar un pensamiento creativo buscando optimizar la retención de la información en el pensamiento del estudiante, estimulando la formulación de situaciones intuitivas que confirmaran sistemáticamente, potenciando las estrategias metacognitivas obteniendo el “Aprender a Aprender” al mismo tiempo que logran revalorar su autoestima y seguridad.

DESARROLLO:

En nuestro caso particular se han desarrollado prototipos de bancos de motores a gasolina, simulador de unidad electrónica de control para sistema de inyección electrónica multipuertos, banco de frenos, banco de transmisiones manuales, como objetos motivacionales que cubran las expectativas de la curiosidad y llevándolos a planos situacionales inductivos, deductivos y transductivos.

Partimos de plantear la competencia profesional que se pretende alcanzar, en la que la gran mayoría de las veces el estudiante no tiene ni idea de la temática y por ende le causa curiosidad, comenzando un proceso metacognitivo, como trata de ilustrar la siguiente figura



Figura 1.- Inicio de proceso metacognitivo Autoría Propia

Una vez que se siembra en el estudiante la duda, la curiosidad y el interés por descubrir y adquirir el nuevo conocimiento, aplicamos un método Inductivo que implica la colección y reordenación de datos para llegar a una nueva categoría, conceptos o generalización.

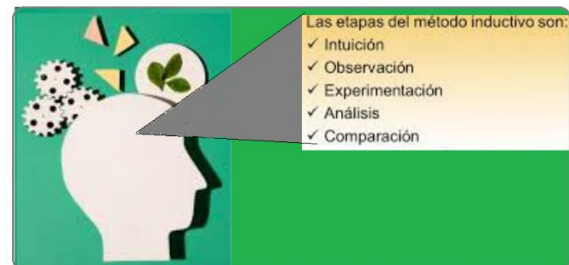


Figura 2.- Aplicación de Método Deductivo Autoría Propia



La figura anterior muestra el proceso al que se lleva al alumno para comenzar a construir su propio conocimiento.

El descubrimiento Inductivo que implica la combinación o puesta en relación de ideas generales con el fin de llegar a enunciados específicos

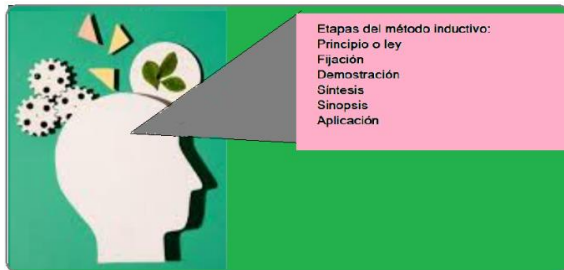


Figura 3.- Aplicación del Método Inductivo
Autoría Propia

El pensamiento transductivo en que el estudiante relaciona o compara elementos particulares y advierte que son similares en algunos aspectos.

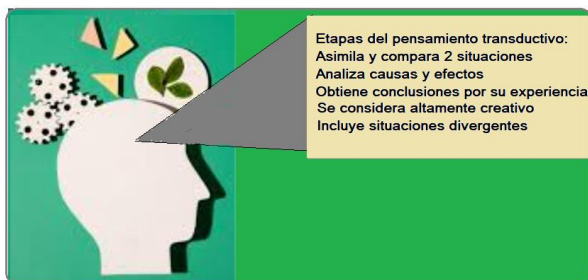


Figura 4.- Aplicación del Método Transductivo
Autoría Propia

Con ello, aunque los alumnos no tengan precisamente las características de investigadores o científicos, lo importante es despertar en ellos el interés, logrando un mejor aprendizaje que con la enseñanza tradicional. Con esta investigación se espera que la impartición de algunos módulos de la retícula académica de la carrera de Ingeniería Electromecánica cuente con una herramienta poderosa en la generación y adquisición del conocimiento.

Como parte de este proceso de enseñanza para la adquisición del conocimiento mencionaremos ejemplos como:

Desarrollo de un prototipo para la enseñanza del sistema de Inyección electrónica, en el que el alumno será capaz de entender el principio de funcionamiento de un motor de combustión interna multi puertos integrando un sensor de posición de mariposa de aceleración, en comunicación con un microcontrolador para la variación de velocidad de dicho motor. En tal prototipo se logrará la competencia de diagnóstico y reparación de fallas del sistema electrohidráulico y llevarlo al nivel de mantenimiento a través de la

limpieza de inyectores como parte de una afinación de un automóvil.



Figura 5.- Prototipo Fuel Injection.
Autoría Propia

En la figura 6 se muestra el uso de un prototipo de motor de 2 tiempos con arranque por jareta y para aplicaciones en motobombas, motorevolvedoras, motoconformadoras, etc..



Figura 6.- Prototipo de motor de 2 Tiempos
Autoría Propia

Otro modelo que se construyó es un banco de pruebas del clásico volks wagen, les llama mucho la atención el hecho de ser motor sin refrigerante líquido, en la figura 7 se ilustra dicho motor que es de 4 cilindros horizontales – opuestos.



**Figura 7 Prototipo WV
Autoría Propia**

A continuación, en la figura 8, se muestra un prototipo de motor de camioneta General Motors de 6 cilindros en línea con encendido electrónico y un panel que simula el tablero de instrumentos

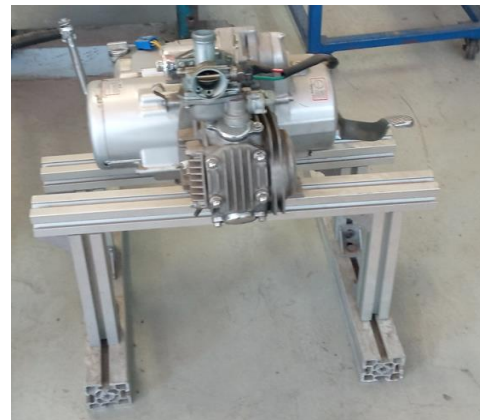


**Figura 8 Motor GM
Autoría Propia**

En las figuras 9 y 10 se presentan prototipos de motores de Motocicleta uno de 200cc y el otro de 125cc, estos prototipos son de alto interés ya que en los últimos años con el aumento en el precio de los combustibles, el uso de motocicletas y motonetas se ha elevado en forma gigantesca.



**Figura 9.- Motor 2T, 200cc
Autoría Propia**



**Figura 10.- Motor 2T, 125cc
Autoría Propia**

Se puede apreciar un motor 4L, seccionado y sin carter en el que se aprecia el movimiento de los mecanismos internos de un motor de combustión interna



**Figura 11.- Motor 4L seccionado y sin carter
Autoría Propia**



Las 2 figuras mostradas en seguida, presentan 2 tableros de la instalación eléctrica automotriz.



Figura 12.- Tablero de Instalación eléctrica automotriz. Autoría Propia

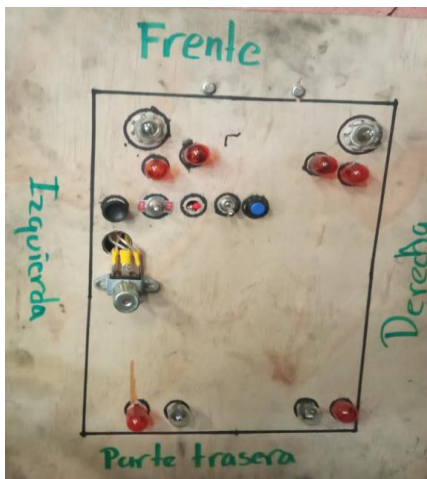


Figura 13.- Prototipo de sistema de iluminación de un automóvil Autoría Propia

También se presenta el proyecto en construcción de un prototipo de auto híbrido con peso no mayor a 250 kgf y capacidad para 4 personas, se pretende obtener un automóvil ligero y compacto que contribuya en parte a la preservación del medio ambiente,



Figura 14.- Construcción de Automóvil híbrido Autoría Propia



Figura 15.- Otra vista de construcción de auto híbrido Autoría Propia

Estos prototipos fueron diseñados para facilitar al alumno el aprendizaje teórico y práctico, para que desarrolle las competencias con mayor facilidad que le servirán en el desarrollo de habilidades, destrezas conocimientos y actitudes que utilizan en el campo laboral.

La última figura muestra el entusiasmo de algunos alumnos que iniciaron su aprendizaje en esta disciplina con dudas, incertidumbre y curiosidad, que con el uso del ApD, han logrado participar en escenarios reales, en situaciones auténticas, dominando las competencias que las áreas de trabajo real requieren.



Figura 16.- Estudiantes de Máquinas Termicas Autoría Propia



CONCLUSIONES:

Los ejercicios presentados son una guía que el profesor debe ampliar y desarrollar paso a paso en función de su experiencia profesional y de los recursos disponibles en el Laboratorio.

Al término de las prácticas el alumno será capaz de diagnosticar el estado de circuitos eléctricos, electrónicos y elementos mecánicos; midiendo las variables de componentes de los sistemas. Mediante la prueba de circuitos eléctricos y electrónicos para sistemas de control, realización de medición e interpretación de las variables de los sistemas hidráulicos y mecánicos. Se sugiere que las actividades de aprendizaje que el alumno desarrolle promuevan la investigación documental y de campo, el análisis y discusión de la información.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

Bermúdez H. H., Gallego H. A. y Fabio B. H. (2011). Universidad Tecnológica de Pereira. Prototipo mecatrónico para la enseñanza y el aprendizaje del MAS.. Scientia et Technica Año XVI, No 49, Diciembre. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701.

Elizalde M. et. al, (2010), “Aprendizaje por Descubrimiento y su eficacia en la enseñanza de la Biotecnología”, Revista de Investigación ISSN 0798 0329, No.71, pp 271.290. Universidad Pedagógica Experimental Libertador. Caracas, Venezuela.

García R. F. (2013). Centro de Estudios Superiores en Ciencias Jurídicas y Criminológicas. Metodología de la Investigación. D.F. México. Ed. CESCJUC.

Henríquez A. (1993), “Aprendizaje por Descubrimiento o Proyecto de Investigación: Posibilidades y Límites”, Centro Póveda, Santo Domingo.

Hernández, B. V. (2005). Universidad de Guanajuato, Los prototipos didácticos: otra forma de enseñar la asignatura de física, Silao, Gto. México.

Machaca Q.C. y Samo P.F. (2018), “Aprendizaje por Descubrimiento y rendimiento académico de los estudiantes de la institución educativa secundaria Santa Rosa Mazocruz de la unidad de gestión educativa El Collao de la Región Puno-2017”, Tesis, Universidad Cesar Vallejo, Perú.

Pardo S.F. (2013), “Metodología de aprendizaje por descubrimiento basada en los debates” consulta 30 de agosto 2022 en

file:///C:/Users/hegar/Desktop/pub_cbt/TFM%20Metodología%20de%20Aprendizaje%20por%20Descubrimiento%20basada%20en%20debates.pdf

Rojas E. B., Moreno I. A. y Calixto G. E. (2012). Instituto Politécnico Nacional. Elaboración de un prototipo didáctico para el

desarrollo de competencias en jóvenes de bachillerato. Innovación Educativa, ISSN: 1665-2673 vol. 12, número 60, D.F. México.

Torres M.J. (2014). Aprendizaje por comprensión con prototipos de energía solar. Innovación Educativa, Congreso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Innovación y Educación. ISBN: 978-84-7666-210-6 – Artículo 456. Buenos Aires Argentina.

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Omar García de la Rosa: Ingeniero Electromecánico egresado del Instituto Tecnológico de Zacatepec, Maestro en Seguridad e Higiene Ocupacional egresado del Departamento de Formación y Capacitación de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social del Estado de México, Doctor en Administración y Políticas Públicas del Centro de Estudios Superiores en Ciencias Jurídicas y Criminológicas,

María de Lourdes Olivares Estrada: Ingeniero Mecánico egresado del Tecnológico de Estudios Superiores de Tlanguistenco, Maestro en Seguridad e Higiene Ocupacional egresado del Departamento de Formación y Capacitación de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social del Estado de México, Doctor en Administración y Políticas Públicas del Centro de Estudios Superiores en Ciencias Jurídicas y Criminológicas.

Leonardo Ceciliano Hernández: Licenciado y Maestro en Ciencias (Física) egresado de la Universidad de los Pueblos de Moscú en la URSS.

Ignacio Castro Zamora: Ingeniero Electricista egresado del Instituto Politécnico Nacional.

Héctor García de la Rosa: Ingeniero Electromecánico egresado del Instituto Tecnológico de Zacatepec, Maestro en Seguridad e Higiene Ocupacional egresado del Departamento de Formación y Capacitación de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social del Estado de México, Doctor en Administración y Políticas Públicas del Centro de Estudios Superiores en Ciencias Jurídicas y Criminológicas,



Análisis trigonométrico y trazo de un triángulo y rombo con AutoCad

Marco Alberto Torres Olvera*

RESUMEN

En el plano bidimensional en las figuras geométricas se pueden trazar proyecciones para representar perspectivas tridimensionales empleando el método isométrico. Este artículo muestra el desarrollo y análisis de dos figuras geométricas triángulo y rombo, en las vistas frontal e isométrica y que fueron trazadas con el apoyo del software de AutoCad.

ABSTRACT

In the two-dimensional plane in geometric figures projections can be drawn to represent three-dimensional perspectives using the isometric method. This article shows the development and analysis of two geometric figures, triangle and rhombus, in frontal and isometric views, which were drawn with the support of AutoCad software.

Palabras claves: Dibujo, isométrico, ángulos, trigonometría, coordenadas relativas y polares.

INTRODUCCIÓN

La importancia del dibujo y el conocimiento de proyecciones isométricas es significativo en componentes de aprendizaje en carreras de Ingeniería. La perspectiva, es la posibilidad de representar en un plano de dos dimensiones figuras de tres dimensiones. Así se produce el efecto de tercera dimensión, es decir, profundidad (Amaguaya, et al 2020).

Para la Real Academia Española, 2014, la perspectiva tridimensional es un sistema de representación en una superficie plana que muestra la profundidad del espacio de una imagen.

En los siguientes ejercicios se trazaron con el apoyo del software de AutoCad dos figuras geométricas visualizando la vista frontal e isométrica, consecutivamente se realizaron cálculos trigonométricos y se trazaron en coordenadas polares y relativas.

Las coordenadas polares son un sistema en el que cada punto del plano se determina por una distancia y un ángulo.

* Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán Universidad Nacional Autónoma de México, Departamento de Ingeniería, Correo electrónico. tom1626@hotmail.com, Torres Olvera Marco Alberto, Profesor de Asignatura, Maestro en Ingeniería.

Las coordenadas relativas son las que expresan la distancia (x,y) pero respecto al último punto capturado (Revatta. 2016).

Tabla 1.- Desarrollo, análisis y resultados del triángulo.

Ejercicio 01: Triángulo - líneas isométricas			
Fuente: Autocad. Frontal- isométrica. Elaboración propia. 2023			
Vista frontal		Vista Isométrica	
Coordenadas Polares		Coordenadas Polares	
Trazo Cuadrado	Cálculos / Diagonal	Trazo Cuadrado	Cálculos / Diagonal
:Line :0,0 :@10< 0 :@10< 90 :@10< 180 :@10< 270	Teorema de Pitágoras para calcular la diagonal $c = \sqrt{a^2 + b^2}$ Sustituyendo: $c = \sqrt{(10)^2 + (10)^2}$ Resultado: c= 14.142	:Line :0,0 :@10< 30 :@10< 90 :@10< 210 :@10< 270	Ley de Senos para calcular la diagonal $\frac{a}{\text{sen}A} = \frac{b}{\text{sen}B}$ Despejando: $a = \frac{b \text{sen}A}{\text{sen}B}$ Sustituyendo: $a = \frac{10 \text{sen}120}{\text{sen}30}$ Resultado: a = 17.32
Trazo / Diagonal		Trazo / Diagonal	
:Line :0,0 :@10< 45 :@14.142< 45		:Line :0,0 :@17.32< 60	
Coordenadas Relativas		Coordenadas Relativas	
Trazo Cuadrado	Trazo / Diagonal	Cuadrado	Cálculos / Diagonal
:Line :0,0 :@10,0 :@0,10 :@-10,0 :0,0	: Line :0,0 :@10,10	Identidad trigonométrica $x = d \cos \alpha$ $y = d \text{sen} \alpha$ Sustituyendo:	Sustituyendo: $x = 17.32 \cos 60$ $y = 17.32 \text{sen} 60$ Resultado: x:8.66



$x = 10\cos 30$	$y: 14.99$
$y = 10\sin 30$	
Resultado:	
$x: 8.66$	
$y: 5$	
Trazo / Diagonal	
: Line	
: 0,0	
: @ 8.66, 14.99	

Tabla 2.- Desarrollo, análisis y resultados del rombo.

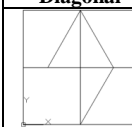
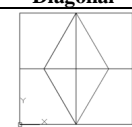
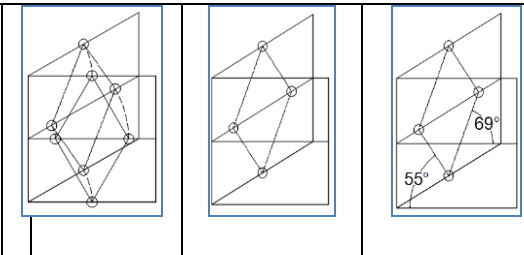
Ejercicio 02: Rombo - líneas no isométricas	
Fuente: Autocad. Frontal- isométrica. Elaboración propia. 2023	
Vista frontal	
Coordenadas Polares	

Trazo Cuadrado	
Line :0,0 :@ 10< 0 :@ 10< 90 :@ 10< 180 :@ 10< 270	
Cálculos / Diagonal	Cálculos / Diagonal
Ley de Senos para calcular la diagonal $\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B}$ Despejando: $a = \frac{b \sin A}{\sin B}$ Sustituyendo: $a = \frac{5 \sin 90}{\sin 60}$ Resultado: $a = 5.77$	Ley de Senos para calcular la diagonal $\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B}$ Despejando: $a = \frac{b \sin A}{\sin B}$ Sustituyendo: $a = \frac{5 \sin 90}{\sin 120}$ Resultado: $a = 5.77$
Trazo Perfil	Trazo Perfil
:Line :5,0 :@ 5.77< 60	:Line :@ 5.77< 120

Cálculos / Diagonal	Cálculos / Diagonal
Ley de Senos para calcular la diagonal $\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B}$ Despejando: $a = \frac{b \sin A}{\sin B}$ Sustituyendo: $a = \frac{5 \sin 90}{\sin 60}$ Resultado: $a = 5.77$	Ley de Senos para calcular la diagonal $\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B}$ Despejando: $a = \frac{b \sin A}{\sin B}$ Sustituyendo: $a = \frac{5 \sin 90}{\sin 120}$ Resultado: $a = 5.77$
Trazo Perfil	Trazo Perfil
:@Line :5,0 :@ 5.77< 240	:Line :@ 5.77< 300
Fuente: Autocad. Frontal. Elaboración propia. 2023	

Coordenadas Relativas	
Trazo Cuadrado	
:Line :0,0 :@ 10,0 :@ 0,10 :@ -10,0 :0,0	
Cálculos / Diagonal	Cálculos / Diagonal
Identidad trigonométrica	Identidad trigonométrica



$x = d \cos \alpha$ $y = d \sin \alpha$ Sustituyendo: $x = 5.77 \cos 60$ $y = 5.77 \sin 60$ Resultado: $x: 2.88$ $y: 4.99$	$x = d \cos \alpha$ $y = d \sin \alpha$ Sustituyendo: $x = 5.77 \cos 120$ $y = 5.77 \sin 120$ Resultado: $x: -2.88$ $y: 4.99$	Cálculos / Diagonal  Identidad trigonométrica $x = d \cos \alpha$ $y = d \sin \alpha$ Sustituyendo: $x = 5.77 \cos 240$ $y = 5.77 \sin 240$ Resultado: $x: -2.88$ $y: -4.99$	Cálculos / Diagonal  Identidad trigonométrica $x = d \cos \alpha$ $y = d \sin \alpha$ Sustituyendo: $x = 5.77 \cos 300$ $y = 5.77 \sin 300$ Resultado: $x: 2.88$ $y: -4.99$	 Fuente: Autocad. Líneas no isométricas. Elaboración propia. 2023
Trazo Perfil	Trazo Perfil	Trazo Perfil	Trazo Perfil	
:Line	:Line	:Line	:Line	
:5,0	:@-2.88,4.99	:@-2.88,-4.99	:@2.88,-4.99	
:@2.88,4.99				

RESULTADOS

El uso de la tecnología digital de software de dibujo para el trazo de figuras geométricas y operaciones matemáticas fortalece el aprendizaje al estudiante de Ingeniería. Se empleó la trigonometría y geometría para el trazo de las figuras en la vista frontal e isométrica, sin embargo en el caso del rombo, no es posible calcular los ángulos para la vista isométrica. La propuesta de solución fue utilizar el método de circunferencias proyectadas de la vista frontal a isométrica.

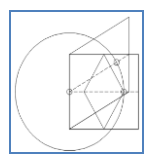
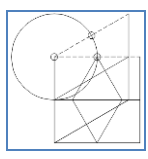
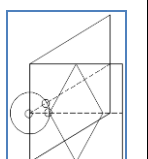
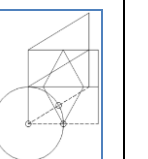
CONCLUSIONES

La tecnología digital del software de dibujo desplaza a la forma tradicional del dibujo de las figuras geométricas, sin embargo es importante saber el manejo de las herramientas básicas, tales como las escuadras y el compás, siendo aún de gran utilidad en la medición de cualquier dibujo, sea plano, pieza o figura geométrica.

Vista No - Isométrica

El rombo en vista isométrica no se puede trazar mediante cálculos trigonométricos, por esta razón no se conocen los datos de líneas y ángulos, por lo tanto se emplea el método de circunferencias proyectadas de vista frontal a vista isométrica con los siguientes pasos como se muestra en las siguientes figura.

Tabla 3.- Desarrollo, análisis y resultados del rombo no isométrico.

Esquina derecha	Esquina Superior	Esquina Izquierda	Esquina Inferior
			
Trazo de Puntos	Rombo no isométrico	Ángulos no isométricos	

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

Amaguaya, M. M., Rivera, L. D. F., & Tamayo, C. F. M. (2020). Propuesta metodológica para dibujar proyecciones isométricas. 3c Tecnología: glosas de innovación aplicadas a la pyme, 9(2), 17-47.
 Revatta Espinoza, J. (2016). Dibujo para Diseño de Ingeniería I. Real Academia Española. (2014). Diccionario de la lengua española (23ª ed.).

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Marco Alberto Torres Olvera: Ingeniero Mecánico Electricista egresado de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM, Maestro en Ingeniería, orientación Metal Mecánica egresado de la División de Estudios de posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.



Implementación de Práctica titulada “Diseño y Funcionamiento de un Filtro de Aire” dentro del Laboratorio de Ingeniería Ecológica

Gilberto Chavarría Ortiz,¹ Víctor Hugo Hernández Gómez²

RESUMEN

En el presente documento se expone la práctica sugerida para el Laboratorio de Ingeniería Ecológica de la carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica (IME), que se imparte en la Facultad de Estudios Superiores campus Cuautitlán (FES-Cuautitlán), denominada “Diseño y Funcionamiento de un Filtro de Aire” con la finalidad de que el estudiante de dicha carrera conozca, diseñe y construya un pequeño filtro y observe su funcionamiento y la importancia que conlleva la limpieza del aire dentro de un recinto.

El objetivo del presente trabajo es incentivar la creatividad del estudiante para que pueda diseñar y fabricar su propio filtro de aire e implementarlo en su hogar u oficina de trabajo. El trabajo especifica el material a utilizar, sin embargo, el alumno de (IME) tendrá la libertad de poder cambiar el material que se propone con la condición de notificarlo al profesor de laboratorio con antelación e indicarlo en su reporte de práctica. Así mismo se utilizará el circuito electrónico que realizó el estudiante de IME en práctica 5 denominado “Fuente de Voltaje de CD” del Laboratorio de Electrónica Básica (cursado en el quinto semestre de la carrera) con la finalidad de que el estudiante de dicha carrera pueda darle una aplicación práctica a dicho circuito electrónico.

ABSTRACT

This document presents the suggested practice for the Ecological Engineering Laboratory of the career Electrical Mechanical Engineering (IME), which is taught at the Faculty of Higher Studies campus Cuautitlán (FES-Cuautitlán), called "Design and Operation of Air Filter" with the purpose that the student of said career knows, designs and builds a small filter and observes its operation and the importance of cleaning the air inside an enclosure. The objective of this work is to encourage the creativity of the student so that he can design and manufacture his own air filter and implement it in his home or work office.

The work specifies the material to be used, however, the student of (IME) will have the freedom to change the proposed material on the condition of notifying the

laboratory teacher in advance and indicating it in their practice report. Likewise, the electronic circuit made by the IME student in practice 5 called "DC Voltage Source" from the Basic Electronics Laboratory (completed in the fifth semester of the degree) will be used in order that the student of said degree can give a practical application to said electronic circuit implementation.

Palabras claves:

Laboratorio de Ingeniería Ecológica, filtro de aire, creatividad, diseñar, material, circuito electrónico.

OBJETIVO

El estudiante de ingeniería diseñará y construirá un pequeño filtro de aire con la finalidad de entender el procedimiento de absorción de los diferentes materiales utilizados en los filtros de aire, sus efectos sobre las partículas suspendidas contenidas en el aire y así contrarrestar la contaminación del aire debido a dichas partículas suspendidas.

INTRODUCCIÓN

La disminución de la calidad del aire debido a la contaminación atmosférica en zonas urbanas es producto de un conjunto de factores como la cantidad y calidad de los combustibles utilizados por los distintos procesos industriales, las actividades productivas y de población, y por las condiciones meteorológicas (locales y globales) y fisiográficas que modifican la química atmosférica.

Por lo anterior, los contaminantes del aire se pueden clasificar según su origen como naturales y antropogénicos. Los contaminantes de origen natural provienen de fuentes naturales y los contaminantes de origen antropogénico son aquellos derivados de las actividades del hombre.

Es de gran importancia analizar las características, propiedades y origen de los contaminantes más importantes en función de su fuente de origen, ya que éste es el criterio más habitual para poder inhibir la cantidad de contaminantes que se arrojan a la atmósfera.

Facultad de Estudios Superiores Campus Cuautitlán (UNAM),
¹gchoz70@comunidad.unam.mx, ²vichugo@servidor.unam.mx.





FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE

La calidad del aire que nos rodea es resultado de una combinación de factores, que producen cambios en su composición y que puede variar de un momento a otro.

Los factores que intervienen en la dispersión y/o acumulación de contaminantes en la atmósfera son [II]:

- a) Eventos meteorológicos.
 - Determinan el estado y movimiento de las masas de aire.
 - Facilitan o dificultan la dispersión de contaminantes.
 - La temperatura del aire determina los movimientos del aire y las condiciones de estabilidad o inestabilidad atmosférica.
- b) Características geográficas.
 - Influyen en la difusión o acumulación de los contaminantes.
 - Las montañas frenan los vientos, favoreciendo la acumulación de contaminantes.
 - Las zonas urbanas influyen en el movimiento de las masas de aire, disminuyendo su velocidad y generando turbulencias que contribuyen a la acumulación de contaminantes.
- c) Fuentes de emisión.
 - Lanzan las sustancias al aire por una fuente localizada o como resultado de reacciones fotoquímicas.

Dichos factores producen un impacto local, regional y global en la calidad del aire.

ESTRATEGIAS PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN [III]

La rápida industrialización ha dado lugar a innumerables accidentes que han contaminado los recursos terrestres, atmosféricos y acuáticos con materiales tóxicos y otros contaminantes, amenazando a las personas y los ecosistemas con graves riesgos para la salud.

El uso cada vez más generalizado e intensivo de materiales y energía ha originado una creciente presión en la calidad de los ecosistemas locales, regionales y mundiales. Antes de que se emprendiera un esfuerzo concertado para reducir el impacto de la contaminación, el control ambiental apenas existía y se orientaba principalmente al tratamiento de residuos para evitar daños locales, aunque siempre con una perspectiva a muy corto plazo.

Sólo en aquellos casos excepcionales en los que se consideró que el daño era inadmisiblemente se tomaron medidas al respecto. A medida que se intensificó el ritmo de la actividad industrial y se fueron conociendo los efectos acumulativos, se impuso el paradigma del control de la contaminación como principal estrategia para proteger al medio ambiente.

Dos conceptos son la base para el control de la contaminación de aire [I]:

- El concepto de Capacidad de Asimilación, que reconoce la existencia de un cierto nivel de emisiones al medio ambiente sin efectos apreciables en la salud humana y ambiental.
- El concepto del Principio de Control, que supone que el daño ambiental puede evitarse controlando la forma, la duración y la velocidad de la emisión de contaminantes al medio ambiente.

Como parte de la estrategia del control de la contaminación, los intentos de proteger el medio ambiente han consistido principalmente en aislar los contaminantes del medio ambiente y en utilizar depuradoras y filtros en las fuentes emisoras. Estas soluciones, orientadas a objetivos de calidad ambiental o límites de emisión específicos para un medio, se han dirigido especialmente a eliminar los puntos de vertido de residuos a determinados medios (aire, agua, tierra).

CONTROL DEL PROCESO Y DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN

El control del proceso implica revisar cuidadosamente la unidad de producción, a fin de reducir la contaminación del aire e inspeccionar si el proceso de producción y el caudal de la emisión son óptimos, como también el control y tratamiento necesarios para las emisiones del proceso.

Un principio fundamental para lograr el control de la contaminación del aire establece que el problema puede resolverse en mejor forma si éste se soluciona desde el sitio de origen de las emisiones.

MÉTODOS PARA EL CONTROL EN EL ORIGEN

Los métodos para el control total o parcial en el origen incluyen:

- a) Eliminación de emisiones. - La sustitución de materiales, procesos o equipo, es el método menos costoso y más positivo. Los métodos de eliminación de emisiones más utilizados son los siguientes:
 - Cambio en el proceso. - Pueden ser efectivos para la eliminación de emisiones contaminantes del aire (condensación y reutilización de los vapores).
 - Sustitución de equipo. - Utilización de equipos de mayor calidad y capacidad con la finalidad de reducir y/o eliminar fugas de gases contaminantes dentro del proceso de producción.
 - La sustitución del combustible. - Utilización de un combustible biodegradable.
- b) Reducción de emisiones. - Entre los métodos más utilizados se encuentran:
 - Emisiones por fuga. - El escape en los sistemas de transporte, puede reducirse si se eliminan los derrames y la dispersión de material mediante cubiertas herméticas construidas alrededor de los transportadores.



- Emisiones del proceso. - Cuando los contaminantes son un subproducto de las operaciones del proceso, esto se pueden disminuir mediante cambios en las condiciones de dicho proceso.
- Concentración de contaminantes en el origen. - Se logra con la centralización y disminución de los puntos de emisión y la reducción del volumen de gas que será descargado.
- Reducción del número de puntos de emisión. - El control de la exposición de los trabajadores a las emisiones que producen ciertas operaciones en industrias metalmeccánicas tales como pulido, sierra y corte, puede llevarse a cabo si se agrupan las operaciones y se practica una ventilación local exhaustiva con un sistema de recolección común, en lugar de utilizar un sistema de ventilación exhaustiva con un colector individual para cada operación. La recolección centralizada disminuye los cortes por unidad de peso del material colectado.
- Reducción del volumen por enfriamiento. - Las dimensiones de colectores de polvo como filtros y precipitadores, generalmente toman en cuenta el flujo volumétrico y no el flujo de masa. Si la emisión es de un gas caliente y polvoriento, el enfriador puede reducir su volumen apreciablemente. Uno de los métodos más económico consiste en la simple adición de aire frío. Otros medios incluyen el intercambiador de calor, la convección forzada y el rociado con agua.
- Ventilación local exhaustivo. - Este tipo de sistema bien diseñado e instalado en forma
- adecuada, constituyen un elemento importante en el propósito de reducir los caudales de aire succionado y para controlar al máximo la concentración de contaminantes, advirtiéndose que éstos deben sujetarse a limpieza antes de su descarga a la atmósfera.

CRITERIOS TÉCNICOS PARA SELECCIONAR EQUIPOS DE LIMPIEZA DE AIRE

Al momento de seleccionar los equipos dedicados a la limpieza del aire dentro de los sistemas productivos, debemos considerar los siguientes criterios técnicos:

- a) Rendimiento. – Es el primer factor que se debe tomar en cuenta al momento de seleccionar el equipo de control idóneo de contaminantes, ya que determina la cantidad máxima de dichos contaminantes que se pueden descargar a la atmósfera.
A partir del conocimiento de tal cantidad y del contaminante que entra al sistema de colección propuesto, se define el nivel de eficiencia de recolección requerido. Es importante tener en cuenta que los colectores tienen diferentes eficiencias de acuerdo con el tamaño de las partículas. Por otra parte, el tamaño, la forma y la densidad de las partículas influyen en la velocidad de sedimentación, en la selección del equipo colector y en la facilidad para

remover las partículas de una corriente de gas. Cuando el material colectado es un gas o un vapor, es necesario saber si la sustancia es soluble en un líquido y si puede ser retenida mediante materiales absorbentes, además de considerar las concentraciones esperadas a la entrada y a la salida del colector, las condiciones de temperatura, la presión y el caudal de la corriente.

- b) Propiedades del contaminante. – Se debe conocer qué tipo de contaminante se debe reducir mediante sus siguientes características:
 - Cantidad del contaminante.
 - Composición física y química del contaminante.
 - Explosividad.
 - Reacción química del contaminante.
 - Comportamiento eléctrico del contaminante.
 - Su nivel de toxicidad.
 - Su hidroscofia (tendencia del contaminante a la acumulación en el equipo colector).
 - Aglomeración.
- c) Propiedades del gas portador. – Se deben conocer las propiedades del gas o elemento que realizará el proceso de limpieza del aire:
 - Su composición física y química.
 - La temperatura a la cuál debe trabajar para realizar la limpieza del aire.
 - La presión con la que debe inyectar el elemento limpiador.
 - La viscosidad del elemento limpiador.
 - Su densidad.
 - Su humedad relativa.
 - Su nivel de combustibilidad.
 - Su nivel de toxicidad.
 - Su comportamiento eléctrico.
 - Sus reacciones químicas.

CLASIFICACIÓN DE MÉTODOS DE LIMPIEZA DEL AIRE

En términos generales, podemos clasificar los métodos de limpieza de aire en dos grupos:

- a) Indirectos. - Comprenden la utilización de recursos y procedimientos que reducen, diluyen o evitan la dispersión de los contaminantes. Son generalmente de implantación sencilla y económica, e incluyen: delimitación del terreno o zonificación, eliminación y reducción de fuentes de emisión, dilución por chimeneas y enmascaramiento de olores.
- b) Directos. - Su finalidad es recolectar los contaminantes y evitar su descarga directa a la atmósfera. La selección del método para la limpieza del aire depende de:
 - La naturaleza y concentración del contaminante.
 - El tamaño de sus partículas.
 - Las características de la corriente de aire.
 - Las características del contaminante.
 - Los requerimientos de energía.



- El método de remoción y disposición del contaminante recolectado.
Los procedimientos para el control de agentes gaseosos son:
- Combustión o incineración.
- Absorción y lavado.
- Adsorción.
Los principales métodos para recolectar y controlar los contaminantes particulares son:
- Separación por inercia y gravedad (sedimentación), o colectores mecánicos.
- Filtración.
- Precipitación Electrostática.
- Lavadores o colectores húmedos.
- Sistemas combinados.
En el presente documento (práctica) nos enfocaremos en el filtrado de aire.

FILTRACIÓN

La filtración se emplea para remover material particulado de una corriente gaseosa; su eficiencia para partículas pequeñas es alta, aún para diámetros inferiores a las 0.05 micras.

Los costos de inversión inicial y de mantenimiento varían de acuerdo con la densidad de las partículas, la cantidad y temperatura de la corriente gaseosa que contiene el polvo. Entre los factores que limitan el empleo de la filtración se encuentran:

- las características de la corriente gaseosa (temperatura elevada),
- la carga de polvo que contiene y
- la ruptura del filtro.

Los filtros pueden contener los siguientes materiales:

1. Filtros Cerámicos, de Arena y de Fibra de Vidrio
Los filtros cerámicos, de arena y de fibra de vidrio son materiales de alta porosidad por lo cual se pueden obtener altas eficiencias cuando la concentración de polvo es baja.
Una muestra de lo anterior es que para partículas con tamaño menores a 1 mm y empleando arena como medio filtrante, su eficiencia de colección puede llegar hacer del 99.7%; mientras que para partículas de entre 0.02 a 0.04 mg/ft³, empleando capas de fibra de vidrio como filtrante, la eficiencia aumenta.
Los filtros de asbesto y fibra de vidrio se emplean como sistemas de filtrado final para terminar de remover partículas muy pequeñas en bajas concentraciones.
Entre las ventajas que brindan los filtros cerámicos, de arena o de fibra de vidrio se pueden enunciar que:
 - No requiere limpieza frecuente.
 - Alta capacidad de almacenamiento de polvo.
 - Alta eficiencia.
 - Resistencia a la corrosión.

Sin embargo, también presentan ciertos tipos de desventajas:

- Presentan dificultad de limpieza.
- Requieren grandes necesidades de espacio.
- Presentan taponamiento debido a contaminantes húmedos y adhesivos.
- Sus costes elevados para su instalación y mantenimiento.

b) Filtros de Papel

Los filtros de papel se utilizan en la limpieza de aire de: hospitales, centros de procesamiento de datos, plantas procesadoras de alimentos e instalaciones de energía atómica.

La estructura que utilizan los filtros de papel es: de acero, aluminio o madera; por lo que el tipo de estructura a utilizar dependerá de la aplicación que se le dé. Esta estructura se fija con empaquetaduras en ambos lados para garantizar un buen sellado.

Entre las ventajas que tiene este tipo de filtro se destacan:

- Inversión inicial moderada.
- Costos de operación bajos.
- No necesitan limpieza.
Entre las desventajas de este tipo de filtro se destacan:
- No son reutilizable.
- Se emplean para cargas de polvo y caudales de flujo bajos.

c) Filtros de Tela

Los filtros de tela son uno de los métodos más eficientes para la remoción de partículas contaminantes, ya que tienen alta eficiencia en la recolección de partículas de hasta 0.01 micras.

Comercialmente se presentan en dos diseños:

- i. Bolsas tubulares. - Las partículas se recogen tanto en la superficie exterior como en la interna.
- ii. Bolsas planas. - Se recolectan en la superficie externa. La recolección, en este tipo de filtro, ocurre por la intercepción e impacto de las partículas sobre los filtros de tela y por difusión, atracción y sedimentación dentro de los poros.

Las bolsas que se diseñan y se utilizan en este tipo de filtrado presentan una vida útil promedio de 18 a 36 meses. Estos filtros son de gran tamaño y deben mantenerse encima del punto de rocío de la corriente gaseosa para evitar daños por humedad.

Los filtros de tela se utilizan para polvo seco, no adhesivo, ni aceitoso; presentan una eficiencia del orden de 99%.

Para la aplicación de los filtros de tela, se deben considerar ciertos factores:

- 1) Relación volumen de aire versus superficie del filtro. – La relación volumen de aire-superficie del



filtro debe ser proporcional al caudal volumétrico del gas que pasa por el área neta de la tela [IV].

$$\frac{A}{c} = \frac{Q}{A} \quad (1)$$

Donde:

$\frac{A}{c}$ = Relación volumen de aire-superficie del filtro [m³/min]

Q = Caudal volumétrico del gas [m³/min]

A = Área neta de la tela [m²]

- 2) Material del filtro. - Permeabilidad [m³/min]] que pasa a través de un metro cuadrado de tela limpia. El rango usual de la permeabilidad de la tela debe oscilar de entre 0.283 a 0.849 m³/min por cada 0.09 m² de tela.

3) Limpieza o arrastre por filtro. – Es la relación que se presenta entre la caída de presión total y la velocidad superficial del filtro y se caracteriza a través del factor de resistencia, denominado como “S” [V].

$$S = \frac{PA}{Q} \quad (2)$$

Donde:

S es la limpieza por filtro.

P es la caída de presión a través del filtro.

A es el área neta del filtro.

Q es el caudal volumétrico de gas

La separación del polvo retenido, del medio filtrante, puede realizarse mediante los siguientes métodos:

- Sacudida mecánica (sacudida de las bolsas).
- Flujo inverso (circulación de aire limpio en sentido opuesto al normal de la corriente gaseosa cargada de polvo).
- Ondas sonoras (producción de sonidos de baja frecuencia).

En la presente práctica daremos una aplicación a la práctica 5 de Electrónica Básica, realizado por los alumnos en el quinto semestre de la carrera de IME [VI].

MATERIAL

- a) Fuente de voltaje de CD (Fuente armada en el quinto semestre de la carrera)
- 1 transformador 127-24 Volts @ 500 mA con TAP Central (Tr)
 - 1 apagador 1 polo 1 tiro (Sw)
 - 1 resistencia de 1kΩ a ½ w (R₁)
 - 1 resistencia de 270 Ω a ½ w (R₂)
 - 1 potenciómetro de 50kΩ (R₃)
 - 1 capacitor electrolítico de 1000 μF a 25 o 50 volts (C₁)
 - 2 diodos 1N4007 (D₁ - D₂)
 - 1 diodo Zener de 15 volts a ½ watt (D₃)

- 1 led rojo (LED)
 - 1 transistor TIP29C (T₁)
 - 1 transistor TIP31C (T₂)
- b) Ventilador para PC (12 volts de alimentación a 250 mA)
- c) Panel de MDF
- d) Carbón activado o papel
- e) Malla mosquitera
- f) Engrapadora industrial y grapas o martillo y clavos o pegamento
- g) Taladro y sierra cinta
- h) Multímetro

OBSERVACIONES:

- A la entrada del transformador unirlo con cable calibre 16 colocarle una clavija y el apagador (switch).
- Se recomiendan paneles de MDF de 3 mm de grosor.

DESARROLLO [VII]

1. Sobre el panel de MDF dibujar cuatro marcos de 20 cm de lado por 3 cm de ancho y cortarlos, tal y como se observa en la figura 1.

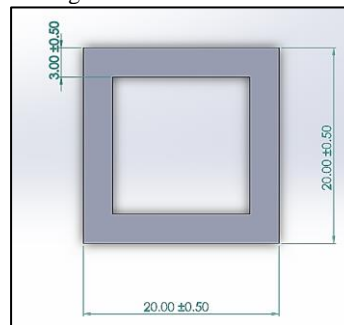


Figura 1.- Medidas del marco.

Fuente: Práctica Descontaminación del Aire. Laboratorio de Investigación en Energías Renovables [VII].

2. Unir los cuatro marcos resultantes del desarrollo 1 para formar un cubo, tal u como se observa en la figura 2.

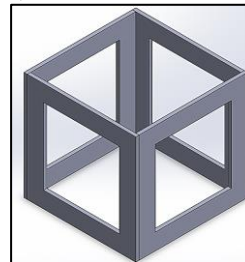


Figura 2.- Unión de los cuatro marcos.

Fuente: Práctica Descontaminación del Aire. Laboratorio de Investigación en Energías Renovables [VII].

3. Dibujar un cuadrado de 20 cm más el grosor del panel de MDF por lado y cortarlo, esta será la base del filtro.

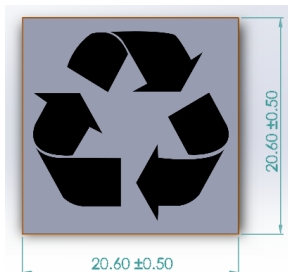


Figura 3.- Medidas de la base.

Fuente: *Práctica Descontaminación del Aire. Laboratorio de Investigación en Energías Renovables [VII].*

4. A la base del cubo, pegar la tabla cortada en el desarrollo anterior.

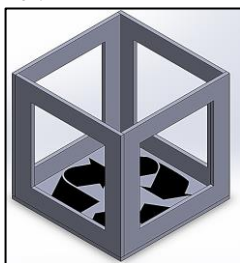


Figura 4.- Unión de la base del desarrollo 2 con el cubo formado en el desarrollo 2.

Fuente: *Práctica Descontaminación del Aire. Laboratorio de Investigación en Energías Renovables [VII].*

5. Repetir los pasos 1 y 2 pero ahora los lados del marco serán de 14 cm.

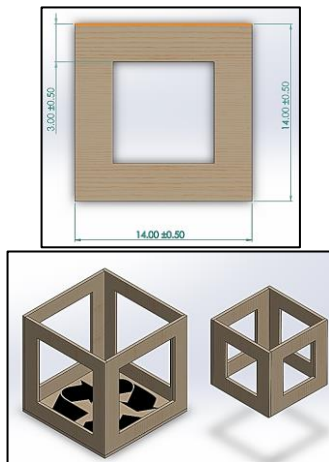


Figura 5.- Medidas del marco del desarrollo 5 y formación del nuevo cubo. Fuente: *Práctica Descontaminación del Aire. Laboratorio de Investigación en Energías Renovables [VII].*

6. Forrar el cubo del desarrollo 5 con malla mosquitera.

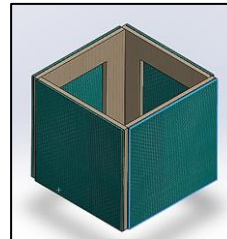


Figura 6.- Forrado del cubo del desarrollo 6 con malla mosquitera.

Fuente: *Práctica Descontaminación del Aire. Laboratorio de Investigación en Energías Renovables [VII].*

7. Introducir el cubo resultante del desarrollo 6 dentro del cubo obtenido del desarrollo 4.

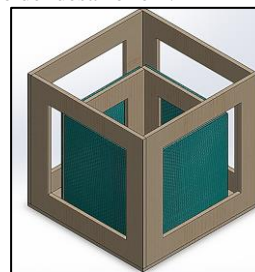


Figura 7.- Colocación del cubo del desarrollo 6 dentro del cubo del desarrollo 4.

Fuente: *Práctica Descontaminación del Aire. Laboratorio de Investigación en Energías Renovables [VII].*

8. Forrar el cubo externo con malla mosquitera.

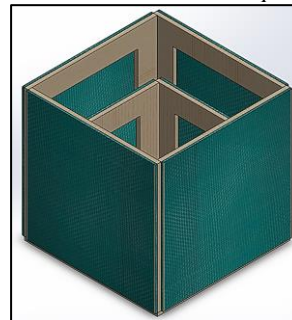


Figura 8.- Forrado del cubo externo con malla mosquitera.

Fuente: *Práctica Descontaminación del Aire. Laboratorio de Investigación en Energías Renovables [VII].*

9. Rellenar con carbón activado el espacio formado entre las mallas mosquiteras.

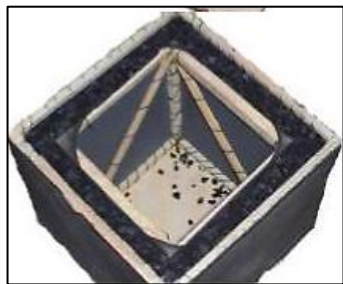


Figura 9.- Rellenado de carbón activado en espacio formado por las mallas mosquiteras.

Fuente: Práctica Descontaminación del Aire. Laboratorio de Investigación en Energías Renovables [VII].

10. Diseñar una tapa para el filtro con panel de MDF de 20 cm de lado, cortar un hueco en el centro de la tapa con las dimensiones que tenga el ventilador para PC.
11. Colocar el ventilador para PC en la parte superior del filtro, acondicionando el hueco de tal forma que el ventilador quede fijo (ver figura 10).
12. Armar el circuito electrónico que aparece en la figura 11.
13. Con el multímetro calibre el voltaje de salida de la fuente de CD a un valor de 12 volts de CD.
14. Conecte el ventilador a la fuente armada, con el switch en posición apagado de la fuente de CD.
15. Encienda un cigarro o incienso y acérquelo al filtro.



Figura 10.- Colocación del ventilador para PC en la parte superior del filtro.

Fuente: Práctica Descontaminación del Aire. Laboratorio de Investigación en Energías Renovables [VII].

16. Encienda el filtro, observe lo que ocurre y redacte lo que sucede con el humo y el aroma.

CUESTIONARIO

1. ¿Cuál es el papel que desempeña el carbón activado en el filtro de aire?
2. ¿Qué otro tipo de material se puede utilizar en sustitución del carbón activa?
3. ¿Qué diferencia existe entre el carbón activa y el carbón vegetal?
4. ¿Es factible utilizar el carbón vegetal?
5. El filtro diseñado en la práctica ¿es de adsorción o es de absorción? Justifique su respuesta.
6. ¿Para qué tipo de contaminantes es factible utilizar el filtro de la presente práctica? Justifique su respuesta.

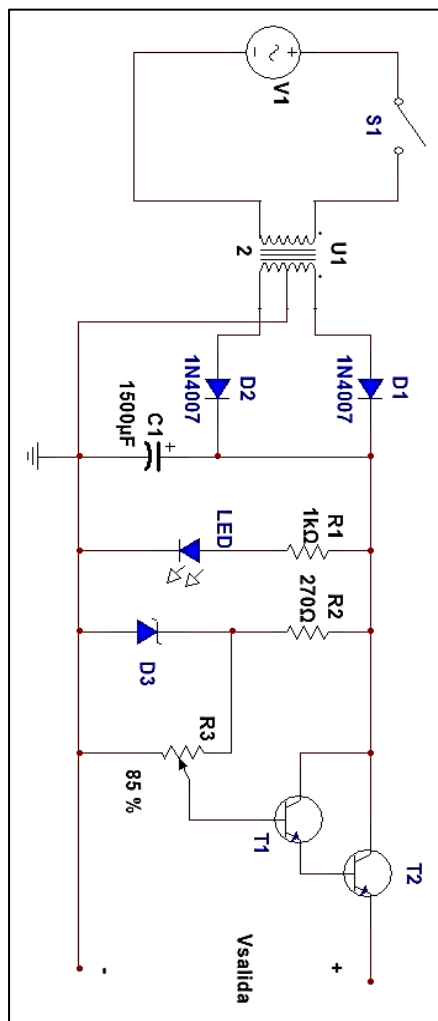


Figura 11.- Diagrama electrónico de la fuente de alimentación de 12 volts. Fuente: Práctica 5.- Fuente de Voltaje de CD. Manual de Prácticas del Laboratorio de Electrónica Básica. 2023.



CRITERIOS DE EVALUACIÓN EN EL REPORTE DE LA PRÁCTICA

Es importante que el alumno de IME siga los lineamientos que se describen en la tabla 1 en la elaboración de su reporte de práctica, con el fin de que elabore un reporte de calidad y lo pueda poner en práctica sin ningún contratiempo al momento de elaborar informes, documentación o reportes en su vida profesional.

RESULTADOS

La presente práctica se ha venido implementando a partir del semestre 2023-1 (agosto 2022 – diciembre 2022) sin la implementación del circuito electrónico, sin embargo, se espera que se sustituya la fuente convencional de 12 volts (eliminador de baterías) por el circuito electrónico elaborado en la práctica 5 del laboratorio de electrónica básica con el fin de que los estudiantes de IME puedan darle un uso práctico a dicho circuito electrónico.

Hasta el momento el número de alumno que han realizado la presente práctica es de aproximadamente 52 alumnos, divididos en grupos de cuatro integrantes. En la tabla 2 se ilustra el número de alumno que han realizado la práctica en los semestres 2023-1 y 2023-2.

Se espera incrementar el número de alumnos a partir del semestre 2024-1 e ir incluyendo y homologando posteriores prácticas con el fin de redactar, ha mediado plazo, un manual de prácticas de laboratorio para la asignatura de Ingeniería Ecológica.

Tabla 1

Criterios de Evaluación en el reporte de práctica.

Fuente: Ing. Gilberto Chavarría Ortiz

Criterios de Evaluación	Cumplimiento
Portada	✓
Índice	✓
Objetivo de la práctica	✓
Introducción teórica	✓
Material utilizado en la práctica	✓
Informe de la práctica: a) Cronograma de actividades b) Desarrollo experimental c) Coste de la práctica	✓
Opinión y conclusiones del estudiante	✓
Glosario	✓
Referencias bibliográficas o de artículos	✓

Tabla 2

Número de alumnos que realizaron la práctica del diseño de filtro de aire.

Fuente: Ing. Gilberto Chavarría Ortiz

Semestre	Número de alumnos
2023-1	20
2023-2	32

CONCLUSIONES

Es importante generar conciencia a los estudiantes de IME para que diseñen sus propios filtros de aire y lo puedan utilizar en su vida diaria. Posteriormente darles las herramientas necesarias para que puedan elaborar diseños diferentes de filtros de aire y puedan, si así es su caso, iniciar una pequeña PYME dedicado al diseño y fabricación de filtros de aires para casa-habitación y para pequeñas empresas.

Se debe incentivar al estudiante de IME, la capacidad creativa, investigación de materiales idóneos a utilizar en el proceso de filtrado y su remuneración posterior.

Con esta práctica el alumno aprenderá a solucionar problemas de contaminación de aire en un espacio cerrado.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos al Programa de Apoyo a Proyectos para Innovar y Mejorar la Educación (UNAM-DGAPA-PAPIME), por el apoyo brindado a través del proyecto PE100222.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- I. Spiegel Jerry y Lucien Y. Maystre, 'Control de la Contaminación Ambiental. Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo; Vol. II, Parte VII. Capítulo 55 Control y Prevención. Artículo publicado en la plataforma digital del Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo de España (versión al español de la Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo, dictado por la Organización Internacional del Trabajo [OIT]), Disponible en: <https://www.insst.es/tomo-ii>
- II. Contreras Vigil. A. M., García Santiago G., Icaza Hdez B. Calidad del Aire: Una Práctica de Vida. SEMARNAT. México. 2013. Disponible en: [/https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD001593.pdf](https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD001593.pdf)
- III. Apuntes de la asignatura Ingeniería Ecológica. Capítulo Contaminación del Aire. Ing. Gilberto Chavarría Ortiz. Actualización: 2023. Disponible en el portal de Moodle de las Aulas Virtuales de la CUAIEED.
- IV. García G. María Granada. Guía de Diseño de Instalaciones de Aire Comprimido para Plantas



- Termosolares. Escuela Superior de Ingenieros. Universidad de Sevilla. España. 2011. Disponible en: <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/5025>
- V. Hernán G. Mauro. Calculo y Diseño de Filtro de Mangas (Tipo Pulse Jet). Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Villa María. Argentina. 2018.
- VI. Hernández D. Noemi, Ramírez U. Ubaldo. Práctica 5.- Fuente de Voltaje de CD. Manual de Prácticas del Laboratorio de Electrónica Básica. 2023. Disponible en la página de ingeniería de la FES-Cuautitlán. http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/
- VII. Práctica Descontaminación del Aire. Laboratorio de Investigación en Energías Renovables. Hernández G. Víctor H. Disponible en la plataforma Clase para PAPIME Ecológica IME 2024-I: <https://classroom.google.com/u/0/c/NjA1OTM4NzIyMDg3>

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Víctor Hugo Hernández Gómez: Ingeniero Mecánico Electricista egresado de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM. Maestro y Doctor en Ingeniería orientación Energía egresado de la División de Estudios de posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Profesor de tiempo completo en la FES Cuautitlán.

Gilberto Chavarría Ortiz: Ingeniero Mecánico Electricista egresado de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM. Profesor de asignatura en la FES Cuautitlán.





La clase de matemáticas y el producto interno en un espacio vectorial

Celina Elena Urrutia Vargas*, **Armando Aguilar Márquez***, **Miguel de Nazareth Pineda Becerril***,
Pedro Guzmán Tinajero**, **Víctor Hugo Hernández Gómez*****, **Omar García León***

RESUMEN

Los conceptos y principios de matemáticas son de gran importancia para el estudiante de nivel universitario que cursa una carrera de ingeniería estos conocimientos son una herramienta útil a lo largo de su formación profesional. Se presenta una propuesta a partir de la experiencia docente en la clase de álgebra. Iniciando con la identificación de la asignatura (se cursa en el primer semestre de Ingeniería Química en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán UNAM) y la redacción del objetivo: El alumno al término de la clase será capaz de analizar y comprender el producto interno entre dos vectores para utilizarlo en un problema de aplicación.

Lo siguiente es la realización. Elaboración del material didáctico con definiciones, fórmulas y problema de aplicación respetando de los autores la simbología utilizada para nombrar los vectores, se aplica una evaluación diagnóstica para saber los conocimientos que tiene el estudiante del tema, las estrategias didácticas que se utilizan son el aula invertida (para incorporar la tecnología se les envía a los alumnos las notas con el fin de que estudien con anterioridad antes de entrar a clase) y el aprendizaje situado (el estudiante tendrá una visión apegada a la realidad de los conocimientos que se le están transmitiendo) esto se logra con un problema de aplicación real donde utiliza el producto interno de dos vectores para calcular el ángulo entre éstos. Las técnicas didácticas son exposición, lectura didáctica, lluvia de ideas.

Finalmente se realiza la autoevaluación donde los alumnos reconocen sus logros y las dificultades para llegar al objetivo planteado en la clase con una actitud crítica y reflexiva.

Se llega a la conclusión que la clase tradicional no satisface los diferentes formas de pensar y sentir que tienen los alumnos, el profesor de matemáticas tiene que buscar nuevas estrategias didácticas para motivarlos y que logren vincular la nueva información con los conocimientos anteriores para lograr un aprendizaje significativo a largo plazo.

ABSTRACT

The concepts and principles of mathematics are very important for the university student that studies and engineering degree, these knowledges are a useful tool along their professional training. A proposal is presented though the teaching experience in algebra

lessons. Beginning with the identification of the subject (it is taken in the first semester of the chemistry engineering career at the Faculty of Higher Education (UNAM) Cuautitlán) and the writing of the aim lesson: The student at the ending of the class will be able to analyze and understand the internal product between two vectors, to use it in an application problem. The next step is the realization. Making the didactic material with definitions, formulas and application problems, respecting the symbology of the authors, used to name the vectors, it is applied a diagnostic evaluation to know the knowledges that the students have about the theme, the didactic strategies that are used are the flipped classroom (in order to incorporate the technology, the class notes are sent to the students, so they can study before the class), and the situated learning (the student will have a vision attached to reality with the knowledges that are being transmitted) this is achieved with a problem that can be applied to reality, where the internal product of two vectors is used to calculate the angle between them) the didactic techniques that are used are exposition, didactic reading, brainstorming. Finally, the self-assessment is carried on, where the students recognize their achievements and difficulties to reach the class aim with a critical and reflective attitude. The conclusions that the traditional class doesn't satisfy the different ways of feeling and thinking that the students have, the math teacher has to look for new didactic strategies to motivate the students, so they can manage to link the new information with the previous knowledges, to achieve a long-term meaning knowledge.

Palabras claves: Producto interno, ángulo, espacio vectorial, planeación didáctica.

INTRODUCCIÓN

EL trabajo docente en el aula universitaria es una tarea esencial para el profesor de matemáticas, es arduo cuando planea su curso, por el papel que desempeña en la enseñanza, además es de gran importancia y utilidad para sus estudiantes que cursan una carrera de ingeniería. El maestro está consciente de que en clase tiene poco tiempo y mucho material por enseñar además de mediar entre el alumno que aprende y los contenidos que trata de comunicar, acompaña a sus alumnos en el proceso de búsqueda, construcción y aplicación del conocimiento. Su experiencia en la impartición de

UNAM, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán,
celinaelena@yahoo.com.mx* Depto. Matemáticas. **Depto.
Física, ***Depto. Ingeniería. Los autores tienen grado de doctor.
EM-01:5 DE 5





clase le ayuda a continuar con la búsqueda de una solución para mejorar el aprendizaje significativo en su curso “El profesor, a partir de su experiencia concreta, observa y reflexiona acerca de las variables que intervienen en el proceso de enseñanza-aprendizaje (variables del profesor, del alumno, del currículum y de la institución) y las integra” (Rueda y Díaz,2006).Al conocer al alumno le ayuda como refiere Arnaz (2001) “Entre las características de los educandos, que más se reconocen como significativas en los procesos de enseñanza-aprendizaje, están: la edad, la escolaridad, la situación económica”(p.23).En la planificación de su clase tiene que identificar el nombre de la asignatura, el semestre en que se imparte, el plan de estudios de la carrera. Además, tiene que tomar en cuenta las características de su grupo de alumnas y alumnos, sus edades, su contexto, para saber sus conocimientos con los que llegan, realiza una evaluación diagnóstica con el propósito de reafirmar lo que el alumno ya sabe de los contenidos que enseñará, revisar el temario de la asignatura y cómo abordará los temas, los recursos con que cuenta, las estrategias que utilizará y como evaluará. Ahora bien el compromiso de educar lo compromete a pensar como cita González (1999) “En nuestros diseños, los profesores y profesoras vamos a pensar y racionalizar la enseñanza y el aprendizaje-nuestros saberes teóricos y prácticos sobre éstos-y los requerimientos de una disciplina o materia específica (matemáticas, física, literatura...)”(p.20).A continuación se presenta una experiencia docente en la clase de matemáticas concretamente en álgebra que se imparte en el primer semestre de Ingeniería Química en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán UNAM.

ANTECEDENTES

La reflexión de la situación didáctica en el aula conduce como señalan (Parra y Saiz,2005) “La finalidad de la Didáctica de Matemáticas es el conocimiento de los fenómenos y procesos relativos a la enseñanza de la Matemática para controlarlos y a través de ese control optimizar el aprendizaje de los alumnos” (p.17).En el salón de clase el profesor debe trabajar con todo el grupo y al mismo tiempo dar atención a cada miembro, una forma de conseguir esto es según Ainscow(2001) “A menudo, la forma de conseguir todo esto consiste en presentar tareas de resolución de problemas, minuciosamente planeadas con el fin de animar e incluso exigir la exploración y aplicación de lo que se está enseñando”(p.27). Hoy en día los maestros se entusiasman con la idea del cambio en su clase como cita Estévez (2002) “En primer lugar hay que replantear la figura del profesor, no hay que concebirlo como mero ejecutor de planes y programas de estudio” (p.19) y se animan a explorar para tener la atención de sus alumnos y evitar la pregunta ¿por qué es tan aburrida la clase de matemáticas? En palabras de Zarzar (2015) “El trabajo de los profesores debería ser radicalmente diferente a la manera tradicional de impartir clases. La manera de estructurar la clase, las actividades a realizar durante la misma, el modo de trabajar en equipos, los esquemas de evaluación, etcétera” (p. xxii).Hay que recordar que algunos profesores en especial los de nivel superior no tienen formación específica para la docencia y se toman en serio su capacitación docente como se cita en Ferreiro (2013) “Comenius (Jan Amos Comensky) (1592-1670) sostuvo que

el maestro aprende mientras enseña y el alumno enseña mientras aprende. Toda su reconocida obra Didáctica Magna refleja una filosofía educativa en la que tanto maestro como alumno son enseñantes y aprendices” (p.23). En general en el aula donde se imparte la clase de álgebra se construyen fundamentos sólidos para la elaboración de modelos que le sirven al estudiante de ingeniería para describir fenómenos relacionados su la carrera.

DESARROLLO

La propuesta tiene el sustento en la experiencia docente y las vivencias en clase de álgebra de Ingeniería Química, la meta es cambiar la impartición de la clase tradicional a una más dinámica, en donde se aplique la función tutorial o guía del profesor. Con la inquietud de alejarse de la clase rutinaria como cita Ávila (2006) “Se supone que el profesor tradicional acepta escasas responsabilidades: transmitir u ostentar las nociones, repetir, ejercitar; que no asume la responsabilidad efectiva de que sus alumnos aprendan” (p.303).La asignatura es una base importante para los alumnos de ingeniería como cita Solow (2011) “Mal harían los maestros de educación superior en justificar sus propias fallas imputándolas a las deficiencias en los planes de estudio de educación media. Hoy en día las matemáticas gozan del reconocimiento generalizado como materia de importancia fundamental” (p.10).

Se inicia la planificación didáctica con la identificación de la asignatura, en función de la sesión de trabajo que es la clase de álgebra (la materia tiene asignadas 5 horas por semana) el profesor dosifica la información que debe transmitir durante su labor de expositor, trasmisor y acompañante del proceso enseñanza aprendizaje y propiciar actitudes positivas, en Hernández (2008) se cita “Durante la situación didáctica el profesor propicie un clima de respeto en el que se pueda opinar con libertad sobre los contenidos o ideas que sugiera el profesor y/o los alumnos” (p.203). Se obtiene del plan de estudios de la carrera el temario de álgebra (Plan de Estudios de la carrera de Química/2004. FESC, 2023) que en el apartado número 11 indica Espacios con producto interno y es el subtema a tratar.

Objetivo: El alumno al término de la clase será capaz de analizar y comprender el producto interno entre dos vectores para utilizarlo en un problema de aplicación. Éste se establece términos de lo que se espera que logren los alumnos.

En la realización se desarrolla la elaboración del material didáctico con definiciones, fórmulas y problema de aplicación respetando de los autores la simbología utilizada para nombrar los vectores, se aplica una evaluación diagnóstica, trabajando además la oralidad para saber los conocimientos que tiene el estudiante del tema mediante esta actividad se puede indagar su aprendizaje previo sobre el producto interno de vectores y así construir el significado nuevo. Las estrategias didácticas que se utilizan son el aula invertida (para incorporar la tecnología se les envía a los alumnos las notas con el fin de que estudien con anterioridad antes de entrar a clase) y el aprendizaje situado (el estudiante tendrá una visión apegada a la realidad de los conocimientos que se le están transmitiendo esto se logra con un problema de aplicación real donde utiliza el producto interno de dos vectores para calcular el ángulo entre éstos. Las técnicas didácticas son exposición, lectura didáctica, lluvia de ideas,



(con el propósito de estimular la creatividad individual y grupal). El material que se presenta en la exposición por parte del profesor para enseñar la secuencia de los contenidos iniciando de lo simple a lo complejo, explica cada concepto demuestra los pasos a seguir tratando de estimular la motivación del estudiante para que les ayude a comprender la utilidad de lo que se está trabajando, se inicia con las definiciones, aplicación y sustitución de fórmulas hasta el resultado. Al presentarle al alumno el problema de aplicación se concuerda con Moreno (1993) “El propósito de este tipo de aprendizaje es que las personas se capaciten para resolver adecuadamente el tipo de problemas que enfrentan, analizan y resuelven durante su formación” (p.65). De acuerdo con lo que refiere Pozo (2008) “Dado que aprender implica cambiar y la mayor parte de los cambios en nuestra memoria precisan una cantidad de práctica, aprender, sobre todo de modo explícito o deliberado, supone un esfuerzo que requiere buenas dosis de motivación” (p.321). Se trabaja de una manera distinta en el salón de clase, como cita Lozano (2009) “En una clase de matemáticas se pide a los alumnos que elaboren la representación mental de un problema o que imaginen la situación y que traten de clarificar los detalles” (p.14). El ejercicio o problema que se plantea tiene como finalidad lo citado en Polya (2005) “Pone a prueba la curiosidad de sus alumnos planteándoles problemas adecuados a sus conocimientos, y les ayuda a resolverlos por medio de preguntas estimulantes, podrá despertarles el gusto por el pensamiento independiente y proporcionarles ciertos recursos para ello” (p.5), se inicia la exposición con la definición “Un espacio vectorial real V es un conjunto de objetos, denominados vectores, junto con dos operaciones binarias llamadas suma y multiplicación por un escalar” (Grossman y Flores, 2019). De los productos vectoriales el que se aborda en clase es el producto interno también llamado punto y escalar dando como resultado un número o un escalar. El producto interno tiene una aplicación es en el cálculo del trabajo según Bolívar (1986), “Por definición el trabajo efectuado es igual al producto de la fuerza por la distancia, esto se denota” (p.51)

$$W = f \cdot d \dots\dots (1)$$

(es importante mencionar que cada autor utiliza diferente simbología para la representación de los vectores).

La definición del producto interno de dos vectores según Curtis (1979) “Si $A = (a_1, \dots, a_n)$ y $B = (b_1, \dots, b_n)$, entonces el producto interno de A y B, denotado por (A, B) está definido por la fórmula” (p.31)

$$(A, B) = a_1 b_1 + \dots + a_n b_n \dots\dots (2)$$

Además “Se obtiene multiplicando todos los pares (a_j, b_j) de las componentes de los dos vectores a y b que ocupan el mismo lugar y luego sumando los resultados.” (Knut et al, 2012)

Otra ecuación que se necesita es “Forma alternativa del producto punto de dos vectores” en (Zill y Dewar, 2012)

$$u \cdot v = |u| |v| \cos \theta \dots\dots (3)$$

Donde $\theta =$ es el ángulo entre los vectores $0 \leq \theta \leq \pi$

$|u| |v| =$ son las magnitudes de los vectores.

Podemos observar que el producto interior de dos vectores es igual al producto de sus normas por el coseno del ángulo que forman encontrar el ángulo entre dos vectores. Siguiendo a Polya Op.cit (2005) “Para resolver un problema se necesita:

- I. Comprender el problema.
- II Concebir un plan.
- III Ejecución del plan.
- IV Examinar la solución” (p.17).

Para comprender el problema se analizan los datos que nos proporcionan a continuación se presenta el problema planteado

Problema de aplicación: Encuentre el ángulo entre los vectores $u = (0,0,2)$ y $v = (-1,0,0)$

Se concibe un plan de acción mediante lluvia de ideas.

Se ejecuta el plan calculando el producto interno de los vectores, su magnitud y se utiliza la ecuación (3)

Solución:

Se despeja θ de la ecuación (3)

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{u \cdot v}{|u| |v|} \right) \dots\dots (4)$$

Se calcula el producto interno sustituyendo los valores de los vectores

$$u \cdot v = (0,0,2) \cdot (-1,0,0) \dots\dots (5)$$

$$= (0(-1) + 0(0) + 2(0))$$

$$= 0$$

Se calcula la norma o magnitud de los vectores

$$|u| = \sqrt{0^2 + 0^2 + (2)^2} = 2 \dots\dots (6)$$

$$|v| = \sqrt{(-1)^2 + 0^2 + (0)^2} = 1 \dots\dots (7)$$

Se multiplican las magnitudes de los vectores

$$|u| |v| = (2)(1) = 2 \dots\dots (8)$$

Obteniendo el ángulo entre los dos vectores cuando se sustituyen en la ecuación (4)

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{u \cdot v}{|u| |v|} \right) \dots\dots (4)$$



$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{0}{2}\right) = 90^\circ \dots \dots \dots (9)$$

La respuesta es 90° el ángulo entre los vectores dados.

Se examina la solución revisando el razonamiento y comprobando el resultado.

Se reafirma lo aprendido con preguntas relevantes del tema por ejemplo ¿cómo despejaste el ángulo? ¿cómo se obtuvo la magnitud?

La evaluación del aprendizaje consiste en una autoevaluación de los alumnos de los conocimientos adquiridos donde reconocen sus logros y las dificultades para llegar al objetivo planteado en la clase con una actitud crítica y reflexiva.

CONCLUSIONES

Es de suma importancia la actualización del trabajo docente en el aula para lograr la atención de los alumnos. La clase tradicional no satisface las diferentes formas de pensar y sentir que tienen los alumnos, el profesor de matemáticas tiene que buscar nuevas estrategias didácticas para motivarlos y que logren vincular la nueva información con los conocimientos anteriores para lograr un aprendizaje significativo a largo plazo.

Se logra la motivación de los alumnos para la integración de los conocimientos del tema del producto de vectores y su aplicación (por los comentarios expresados en la clase y por las calificaciones obtenidas) dejando atrás un aprendizaje tedioso. El ejercicio que se plantea puede ser sencillo, pero si el alumno logra resolverlo logrará un conocimiento a largo plazo.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- Ainscow, M. et al (2001). *Hacia una Enseñanza Eficaz en Crear Condiciones para la Mejora del Trabajo en el Aula (Manual para la Formación del Profesorado)*. Madrid: Editorial Narcea, p.27
- Arnaz, J. (2001). *La planeación curricular*. México: Editorial Trillas, octava reimpresión, p.23
- Ávila, A. (2006). *Transformaciones y costumbres en la matemática escolar*. México: Editorial Paidós Educador, p.303
- Bolívar, H. (1986). *Vectores y el Espacio Euclidiano Tridimensional*. México: UNAM. Facultad de Química, p.51
- Curtis, P. (1979). *Cálculo de varias Variables con Álgebra Lineal*. México: Editorial Trillas, p.31
- Estévez, E. (2002). *Enseñar a Aprender Estrategias Cognitivas*. México: Editorial Paidós Educador, reimp.2005, p.19
- Ferreiro, R. (2013). *El ABC del Aprendizaje Cooperativo: Trabajo en Equipo para Aprender y Enseñar*. México: Editorial Trillas, 2ª edición, p.23
- González, O. (1999). *El Trabajo Docente Enfoques Innovadores para el Diseño de un Curso*. México: Editorial Trillas, 2ª edición, p.20
- Grossman, S. Flores, J. (2019). *Álgebra Lineal*. México: Editorial Mc Graw Hill Interamericana, octava edición, p.286
- Hernández, G. (2008). *Paradigmas en psicología de la educación*. México: Editorial Paidós Educador, reimpresión, p.203

- Knut, S. Hammond, P. Carvajal, A. (2012). *Matemáticas para el Análisis Económico*. España: Editorial Pearson Educación, 2ª edición. p.326
- Lozano, A. (2009). *Estilos de Aprendizaje y Enseñanza un Panorama de la Estilística Educativa*. México: Editorial Trillas, 2ª edición, p.23
- Moreno, S. (1993). *Guía del Aprendizaje Participativo Orientación para Estudiantes y Maestros*. México: Editorial Trillas, reimpresión 2011, p.17
- Parra, C. Saiz, I. (2005). *Didáctica de matemáticas Aportes y Reflexiones*. Buenos Aires: Editorial Paidós Educador, p.17
- Polya, G. (2005). *Cómo Plantear y Resolver Problemas*. México: Editorial Trillas, p.17
- Pozo, J. (2008). *Aprendices y Maestros. La psicología cognitiva del aprendizaje*. España: Editorial Alianza, 2ª, p.321
- Rueda, M. y Díaz Frida. (2006). *Evaluación de la docencia. Perspectivas actuales*. México: Editorial Paidós Educador, p.341
- Solow, D. (2011). *Introducción al Razonamiento Matemático*. México: Editorial Limusa, 2ª edición, p.10
- Zarzar, C. (2015). *Planeación Didáctica por Competencias*. México: Editorial Patria, primera edición. p. xxii
- Zill, D. Dewar, J. (2012). *Álgebra, Trigonometría y Geometría Analítica*. México: Editorial Mc Graw Hill Educación, tercera edición, p.551

INFORMACIÓN EN LÍNEA

Plan de Estudios de la carrera de Química. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. [En línea]. Obtenido en febrero de 2023 de la dirección:

https://www.cuautitlan.unam.mx/licenciaturas/quimica/descargas/1416_estadistica.pdf

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Armando Aguilar Márquez: Ingeniero Químico Industrial por el Instituto Tecnológico de la Laguna, México, Máster y Doctor en Ingeniería por la Universidad Politécnica de Madrid. Responsable Académico del Diplomado “Enseñanza de las Matemáticas con el uso de las Nuevas Tecnologías”. Responsable Académico del Diplomado en Contaminación ambiental.

Miguel de Nazareth Pineda Becerril: Ingeniero Mecánico Electricista egresado de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM. Maestría en Ingeniería Metal Mecánica por la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán UNAM. Ponente en el Diplomado “Enseñanza de las Matemáticas con el uso de las Nuevas Tecnologías”.

Omar García León:

Licenciado en Administración Financiera por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Maestría en Empresa en la Universidad de Barcelona, Doctor en la Universidad de Barcelona.

Pedro Guzmán Tinajero: Ingeniero Mecánico Electricista egresado de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán UNAM. Maestro en Administración Industrial por la Facultad de Química UNAM. Doctorado en Gestión Tecnológica e Innovación por la Universidad Autónoma de Querétaro.





Víctor Hugo Hernández Gómez: Ingeniero Mecánico electricista egresado de la Facultad de Estudios Cuautitlán UNAM, Maestro y Doctor en Ingeniería Orientación Energía en la DEPE UNAM. Responsable del laboratorio de Investigación en Energías Renovables.

Celina Elena Urrutia Vargas: Ingeniera Química Industrial, egresada del Instituto Politécnico Nacional. Maestría y Especialidad en Educación, Doctorado en Educación. Ponente en el Diplomado “Enseñanza de las Matemáticas con el uso de las Nuevas Tecnologías” módulo I. “Reconocimiento Sor Juana Inés de la Cruz año 2020”.





Desarrollo de material electrónico multimedia del tema de distribuciones de probabilidad para las licenciaturas de ingeniería que se imparten en la FESC

Miguel de Nazareth Pineda Becerril, Omar García León, Armando Aguilar Márquez, Frida León Rodríguez, Nancy Rosas Fonseca

RESUMEN

El material electrónico multimedia desarrollado del tema de Distribuciones de Probabilidad para las asignaturas de probabilidad y estadística que se imparten en las licenciaturas del área de ingeniería, tiene como objetivo principal que el alumno comprenda de una manera sencilla el significado de variable aleatoria, de las distribuciones de probabilidad de una variable aleatoria discreta y continua, así como las respectivas distribuciones especiales de probabilidad; ya que este material actuará como un elemento catalizador de la integración de las TICs en el proceso educativo de enseñanza-aprendizaje de las asignaturas mencionadas. Este libro o material electrónico multimedia ofrecerá al estudiante una experiencia a pantalla completa con galerías, videos, diagramas interactivos, expresiones matemáticas y más; este libro da vida al contenido en formas que una página impresa no lo puede hacer. Los alumnos podrán hojear el libro con sólo deslizar un dedo en la pantalla.

En resumen, los contenidos multimedia de este libro aportarán ventaja a la hora de las explicaciones y de la comprensión de los conceptos; al ser interactivo, se aprovecharán todas las ventajas que proporciona el internet, calculadoras desarrolladas y las respectivas aplicaciones. Con este material desarrollado se aprovecha la flexibilidad digital y en una actualización se podrán seleccionar contenidos, añadir, modificar, etc.

ABSTRACT

The electronic multimedia material developed on the topic of Probability Distributions for the subjects of probability and statistics taught in the engineering area, has as its main objective that the student understands in a simple way the meaning of random variable, the probability distributions of a discrete and continuous random variable, as well as the respective special probability distributions; since this material will act as a catalyst element for the integration of ICTs in the educational process of teaching-learning of the aforementioned subjects. This book or multimedia electronic material will offer the student a full screen experience with galleries, videos, interactive diagrams, mathematical expressions and more;

this book brings the content to life in ways that a printed page cannot. Students will be able to flip through the book with the swipe of a finger on the screen.

In summary, the multimedia contents of this book will provide an advantage at the time of explanations and understanding of the concepts; being interactive, all the advantages provided by the Internet, developed calculators and the respective applications will be taken advantage of. With this developed material the digital flexibility is taken advantage of and in an update it will be possible to select contents, add, modify, etc.

Palabras claves: Probabilidad, Distribuciones, Multimedia, Electrónico.

INTRODUCCIÓN

Una variable aleatoria es una descripción numérica del resultado de un experimento, es decir, una variable aleatoria asocia un valor numérico con cada resultado experimental posible. Se puede clasificar una variable aleatoria como discreta o continua, dependiendo de los valores numéricos que esta toma. Una variable aleatoria que puede asumir una cantidad finita de valores o una sucesión infinita de valores, se le llama variable aleatoria discreta.

La distribución de probabilidad de una variable aleatoria es una descripción de las probabilidades asociadas con los valores posibles. Para una variable aleatoria discreta, que es el tema de este trabajo, es común especificar la distribución con una lista de valores posibles junto con la probabilidad de cada uno; en algunos casos, resulta conveniente expresar la probabilidad en términos de una fórmula.

La distribución continua de probabilidad más importante de toda la estadística es, sin duda alguna, la distribución normal. La importancia de esta distribución se debe a que describe con gran aproximación la distribución de las variables asociadas con muchos fenómenos de la naturaleza. Bajo ciertas condiciones, la distribución normal constituye una buena aproximación a otras distribuciones de probabilidad, como la Binomial y la de Poisson.

* Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM, Departamento de Matemáticas. Escuela, M. en I. Miguel de Nazareth Pineda Becerril mnazarethp@gmail.com, Dr. Omar García León caronte4509@yahoo.com.

Dr. Armando Aguilar Márquez armandoa@unam.mx, Dra. Frida León Rodríguez fridam@unam.mx, M. en C. Nancy Rosas Fonseca nancy_fonseca1@hotmail.com.





El libro electrónico está diseñado para ayudar a captar el sentido de las distribuciones de probabilidad de variables aleatorias discretas y continuas, es decir, cómo y cuándo aplicar las técnicas estadísticas en situaciones en las que haya que tomar decisiones, y lo más importante cómo interpretar los resultados obtenidos. Puesto que no se escribió para estadísticos profesionales, nuestro texto está adaptado a los conocimientos y las necesidades de estudiantes universitarios que, quizá, acepten el hecho de que la estadística puede serles de considerable utilidad en su desempeño profesional.

Con el contenido del libro el estudiante será guiado a lo largo del proceso de aprendizaje mediante recordatorios de lo que ya debería saber, por medio de widget, imágenes interactivas o imágenes virtuales, resolución de ejercicios en video, así como ejemplos con los que puede identificarse y con procesos desarrollados paso a paso o con un video utilizando un software especializado en estadística.

METODOLOGÍA O DESARROLLO

Se muestra en la figura 1 la portada del libro multimedia elaborado del tema de Distribuciones de Probabilidad, este tema se contempla en las asignaturas de probabilidad y estadística que se imparte en las áreas de las ingenierías de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.

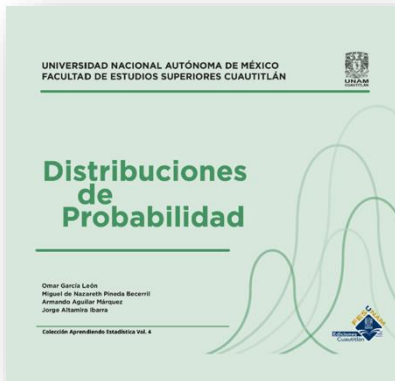


Figura 1. Portada del libro multimedia del tema de Distribuciones de Probabilidad.

El contenido del libro interactivo del tema de pruebas de hipótesis es el siguiente: Video de introducción, Capítulo 1 Variable aleatoria, Capítulo 2 Distribuciones de probabilidad: Variable aleatoria discreta, Capítulo 3 Distribuciones de probabilidad: variable aleatoria continua, Capítulo 4 Distribuciones especiales de probabilidad: variable aleatoria discreta, Capítulo 5 Distribuciones especiales de probabilidad: variable aleatoria continua, Capítulo 6 Formulario, Capítulo 7 Ejercicios resueltos y Capítulo 8 Actividades 1. Ejercicios propuestos, Capítulo 9 Actividades 2. Preguntas de

reviso y Capítulo 9 Bibliografía. La figura 2 nos muestra el contenido del capítulo 6.

Contenido	
Vídeo presentación	10
Capítulo 1	11
Variable Aleatoria	12
Objetivos	
¿Qué se entiende por variable aleatoria?	
¿Qué notación se utiliza para referirse a las variables aleatorias?	
¿Si los resultados del experimento aleatorio ya son valores posibles de la característica a estudiar es viable considerar que los resultados o puntos de muestra en el espacio muestral son estos valores?	
¿Toda función puede considerarse variable aleatoria?	
¿Cómo se pueden clasificar las variables aleatorias?	
¿Cómo se puede describir el comportamiento de una variable aleatoria?	
Capítulo 2	19
Distribuciones de Probabilidad: Variable Aleatoria Discreta	20
Objetivos	
¿Cómo se describe una variable aleatoria discreta?	
¿Cómo se define la función masa de probabilidad?	
¿Cómo se puede representar la función de probabilidad de una variable discreta?	
¿Qué propiedades tiene la función de probabilidad de una variable discreta?	
¿Cómo se define la Función de Distribución de Probabilidad?	
¿Qué propiedades tiene la Función de Distribución?	

Figura 2. Capítulo 6 del libro electrónico

Los videos cada día ganan más atención por parte de los docentes como herramienta de contenidos e información, dentro de este contexto al libro digital se realizó un video de introducción del tema de prueba de hipótesis. La figura 3 nos muestra como se ve en libro electrónico interactivo el video de introducción.



Figura 3. Video de introducción

En cada capítulo se desarrolló la parte teórica en forma de preguntas y respuestas, con la finalidad de que a los alumnos se les haga de más fácil comprensión cada uno de los temas. La figura 4 nos muestra la forma de preguntas y respuestas del capítulo de pruebas de hipótesis para una sola media con la varianza desconocida.



Figura 4. Desarrollo del tema de variable aleatoria

Como apoyo al contenido del libro se añadieron widgets. La herramienta “widgets” consta de pequeñas aplicaciones que permiten integrar contenido interactivo en el libro digital. Los widgets que se utilizaron en este libro fueron para resaltar algún concepto importante en cada uno de los diferentes capítulos. En la figura 5 podemos ver el widget o imagen interactiva realizada para realizar la solución de un ejemplo planteado, en este caso para ejemplificar lo que es una variable discreta, el caso de la variable binomial.



Figura 5. Imagen interactiva elaborada para el ejemplo de celulares defectuosos.

Los contenidos audiovisuales dan vida a cualquier tema en cualquier parte de la página. Ya no se trata solo de ver y leer: ahora es posible interactuar con el texto y las imágenes. Los vídeos pueden reproducirse automáticamente, o la veces que el alumno quiera, con la finalidad de entender mejor un tema o ver como se resuelve un ejercicio práctico con el uso de software. Al final de cada capítulo se elaboró un video, en el cual se muestra cómo resolver un

problema práctico haciendo uso de un software estadístico. En la figura 6 se muestra como aparece el video al final del capítulo 4 en el cual con el uso de software se ve la distribución de Poisson como aproximación de la distribución binomial.

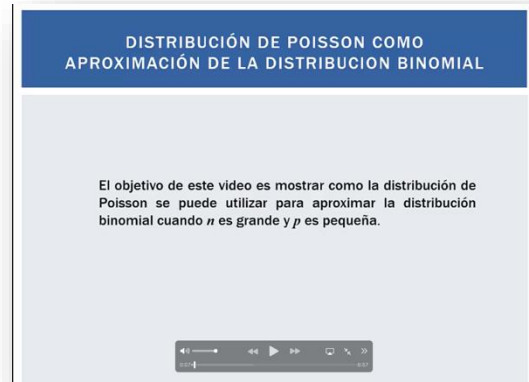


Figura 6. Video con uso de software

Las calculadoras virtuales se han convertido en una de las herramientas de más uso en el mundo de la educación tanto para alumnos como para profesores. Con la llegada del internet aparecieron las primeras calculadoras online capaces de realizar cualquier tipo de cálculo de forma gratuita, sin necesidad de ningún tipo de instalación. La calculadora virtual es una herramienta muy útil para realizar calculo matemáticos de manera rápida y sencilla. Dentro de este contexto para los temas de distribución Binomial, de Poisson, hipergeométrica y Normal, se realizaron calculadoras virtuales con la finalidad de facilitar los cálculos a los alumnos y enfocar su atención en la comprensión de los problemas planteados. En la figura 7 se muestra una calculadora virtual de la distribución binomial, en donde es el número de ensayos, es la probabilidad de éxito e es el número de éxitos en la muestra.

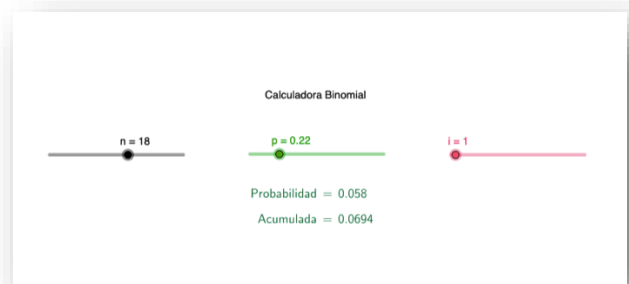


Figura 7. Calculadora virtual de la distribución binomial.



Para evaluar sus conocimientos, los lectores pueden realizar actividades de repaso: responder a un cuestionario de selección múltiple, elegir la foto correcta, poner nombre a una imagen o una mezcla de todos. En el capítulo 9 referente a Actividades 2. Preguntas de repaso, se realizaron respecto de variables aleatorias continuas y discretas. En la figura 8 podemos observar las preguntas de repaso, donde el alumno con la ayuda del mouse le puede dar un clic donde consideré que la respuesta es correcta, automáticamente se le responderá si su respuesta es correcta o incorrecta.

Repaso 7.1 Variables aleatorias continuas y discretas

El número de tarjetas de crédito con saldo vencido de la cartera de un banco es una variable

Continua

Discreta

anterior siguiente

Figura 8. Preguntas de repaso

CONCLUSIONES

La tecnología que se ha integrado al proceso educativo está cambiando los paradigmas de enseñanza. Esto lo podemos ver hasta en escuelas de bajo recursos. Los cambios son en términos generales, buenos. Gracias a la tecnología los libros también están cambiando la forma de enseñanza. Consideramos que el alumno al hacer uso del libro electrónico desarrollado del tema de distribuciones de probabilidad este tendrá una mejor forma de aprendizaje al considerar el libro como un material complementario para los temas del curso normal.

También se considera que al hacer uso del libro electrónico el alumno se puede enfocar a la interpretación de los resultados y a la comprensión de los temas, más que a la memorización de fórmulas; ya que con el uso de software propuesto los resultados se obtienen de una manera más rápida y el alumno se debe enfocar a la interpretación con un pensamiento crítico que ayude a la toma de decisiones. También consideramos que con el apoyo de este material los alumnos mejorarán su actitud hacia las matemáticas con la finalidad de que mejore su comprensión de conceptos y pueda elegir estrategias adecuadas para la resolución de problemas.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- Anderson, D. R., (2011) *Statistics for Business and Economics*, México: South-Western College Pub.
- Devore, J. (2011) *Probability and Statistics for Engineering and the Sciences*. México: CENGAGE Learning, 8 edition
- Levin, R. I., Rubin, D.S., (2010). *Estadística para Administración y Economía*. México: Ed. Pearson Prentice Hall, 7ª. Edición
- Kenneth, C.L., (2012) *Sistemas de Información Gerencial*, México: Always Learning Pearson, 12 edición
- McClave, T., Benson, P., (2010) *Statistics for Business and Economics*, México: Prentice Hall; 11 edition.
- Triola, M. (2010). *Estadística*, México: Pearson Educación 11 edición.

INFORMACIÓN ACADÉMICA

M. en I. Miguel de Nazareth Pineda Becerril: Maestría en Ingeniería, Orientación: Mecánica, Campo Disciplinario: Metalmeccánica, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán Carrera Ingeniería Mecánica Eléctrica (Industrial), Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Profesor de Carrera Titular “B” de Tiempo Completo, Definitivo.

Dr. Omar García León: Licenciado en Administración Financiera por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Maestría en Empresa en la Universidad de Barcelona, Doctor en la Universidad de Barcelona. Ingresó a la FES Cuautitlán UNAM, en 2007. Actualmente es Profesor Titular “B”, Tiempo Completo Definitivo en el área de Información Estadística.

Dr. Armando Aguilar Márquez: Doctor en Ingeniería Sobresaliente Cum Laude por la Universidad Politécnica de Madrid, Maestría en Contaminación Ambiental por la Universidad Politécnica de Madrid. Profesor Titular “C” Tiempo Completo definitivo y nivel de PRIDE C.

Dra. Frida María León Rodríguez: Doctor en Ingeniería Sobresaliente Cum Laude por la Universidad Politécnica de Madrid, Maestría en Contaminación Ambiental por la Universidad Politécnica de Madrid. Profesor Titular “C” Tiempo Completo definitivo y nivel de PRIDE C.

M. en I. Nancy Rosas Fonseca: Profesora de Carrera Asociado “C”, T.C. Int, Profesora del Departamento de Matemáticas.



Modelo de base de conocimiento para la evaluación formativa en Álgebra Lineal

Nelly Rigaud Téllez, Roberto Blanco Bautista, Mario Sosa Rodríguez, Leonel Gualberto López Salazar *

RESUMEN

La evaluación formativa juega un papel importante en apoyar al estudiantado en su proceso de aprendizaje. Para el docente y el staff de una carrera, administrar información sobre logros, deficiencias y oportunidades de mejora de estudiantes es un desafío, a pesar de la existencia de tecnologías que realizan evaluaciones automáticas.

Una base de conocimiento permite la definición de reglas del comportamiento del tema a tratar y sus relaciones, junto con un conjunto de reglas que pueden estructurarse para proporcionar evaluación y retroalimentaciones. El objetivo es presentar un modelo de una base de conocimiento, cuyo dominio es la evaluación formativa, que se estructura en una tupla de conceptos, relaciones y reglas (cláusulas lógicas), y que proporciona el marco conceptual para la alimentación de un sistema que contiene una interfaz y una máquina de inferencia. Las posibilidades tecnológicas de la base de conocimiento tienen por alcance, una estructura que respeta el temario de una asignatura, conceptos de evaluación para actividades de Aprendizaje Basado en Problemas y alineadas a consignas que siguen el proceso de solución de problemas matemáticos. El producto se vislumbra en su aplicación, como una representación sistémica de acciones para los temas de sistemas lineales, matrices y determinantes, espacios vectoriales, espacios con producto interno, transformaciones lineales, operadores lineales en espacios con producto interno, para una carrera de Ingeniería.

ABSTRACT

Resumen. Se debe incluir un resumen el cual debe contener brevemente el planteamiento del problema, la solución propuesta y los resultados obtenidos.

Debe contar con un abstract, el cual será el mismo resumen, pero en el idioma inglés.

Palabras claves: Evaluación formativa automática, retroalimentación, base de conocimiento, Álgebra Lineal.

INTRODUCCIÓN

Las investigaciones en tecnología educativa han permitido desarrollar aplicaciones para brindar apoyo personalizado a estudiantes, como sucede con la evaluación formativa, la cual es

reconocida como un mecanismo para mejorar el tiempo de corrección conforme a estándares esperados, generar informes estadísticos con mediciones de habilidades y conocimientos, y apoyar al estudiantado mientras resuelven problemas asignados durante un curso, a través de comentarios o retroalimentaciones automatizados.

Bloom, Hastings & Madaus (1971) definen a la evaluación formativa como un conjunto de instrumentos de medición diseñados para propósitos específicos de intervención continua que coadyuvan al progreso de cada estudiante. De ahí que, el docente emplea una diversidad de estrategias, las cuales varían ampliamente, bajo el enfoque de evaluar para el aprendizaje, y utiliza la tecnología, como una oportunidad importante para favorecer el aprendizaje del estudiante y también para adaptar su enseñanza.

Sin embargo, su implementación llega a generar obstáculos, por ejemplo, saber cómo hacer inferencias acerca de conocimientos y habilidades que resultan de evaluaciones, trasladar información del estudiantado en planes coherentes para la mejora instruccional o precisar con retroalimentaciones efectivas, en lugar de comentarios, tales como “trabaja más o esfuerzate más”. Adicionalmente, aún está pendiente cómo incorporar a la evaluación formativa en el contexto de calidad de la educación, por ejemplo, en el marco de referencia 2025 del CACEI se habla de actividades con evaluaciones formativas (CACEI, 2023).

Este documento, corresponde a un proyecto en desarrollo, y se orienta a un componente tecnológico de la evaluación formativa automática; una base de conocimiento, como un depósito organizado de conocimiento en forma procesable por una computadora que se utiliza para la distribución de información.

El objetivo es presentar un modelo de una base de conocimiento, cuyo dominio es la evaluación formativa, que se estructura en una tupla de conceptos, relaciones y reglas (cláusulas lógicas), y que proporciona el marco conceptual para la alimentación de un sistema que contiene una interfaz y una máquina de inferencia. Las posibilidades tecnológicas de la base de conocimiento tienen por alcance, una estructura que respeta el temario de una asignatura, conceptos de evaluación para actividades de Aprendizaje Basado en

* Dra. Nelly Rigaud Téllez Facultad de Estudios Superiores Aragón-UNAM. Ingeniería Industrial, nerigaud@unam.mx. Mtro. Roberto Blanco Bautista, Facultad de Estudios Superiores Aragón-UNAM, Ingeniería en Computación, robertoblancoir4@aragon.unam.mx. Mtro. Mario Sosa

Rodríguez, Facultad de Estudios Superiores Aragón-UNAM, Ingeniería Civil, labhd@gmail.com. Dr. Leonel Gualberto López Salazar, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán-UNAM. Lic. En Tecnología, leonelguls@gmail.com.



Problemas y alineadas a consignas que siguen el proceso de solución de problemas matemáticos.

El objeto de estudio es la asignatura de Álgebra Lineal, por ser una asignatura común en las áreas Fisicomatemáticas y de las Ingenierías. Asimismo, para la carrera de Ingeniería Industrial es una asignatura integradora (denominada *capstone*) y de la cual se espera generar evaluaciones formativas, conforme al plan de estudio y a sus atributos educacionales.

Se presentan los fundamentos teóricos de la base de conocimiento, posteriormente, la descripción general para su diseño. Finalmente, algunas consideraciones para generar retroalimentaciones.

ANTECEDENTES

Enfoque basado en problemas

El Enfoque basado en problemas (ABP) está soportado por una base constructivista, en el que el aprendizaje se plantea como un proceso que se organiza en torno a problemas, y donde se promueve una visión interdisciplinaria práctica y colaborativa.

Los autores Du, Graaf y Kolmos (2009) proponen cinco modelos divididos en seis dimensiones para la construcción del conocimiento: Aprendizaje Basado en Problemas (1) para la competencia epistemológica, (2) para la acción profesional, (3) para la comprensión interdisciplinaria, (4) para el aprendizaje transdisciplinario y (5) para la impugnabilidad crítica.

Para cada dimensión se define el tipo de conocimiento, por ejemplo, para la competencia epistemológica es de tipo proposicional. También el escenario donde se encuentra el problema y el tipo de evaluación. Lo anterior se relaciona perfectamente con el proceso de solución de un problema matemático, en donde el modelo de resolución de problemas (Verschaffel, 2000) presenta un modelo mostrado en la figura 1.



Figura 1.- Proceso de solución de problemas matemáticos (Verschaffel, 2000)

El modelo de Verschaffel indica que la instrucción no debe reducirse a elegir una operación, dado un conjunto de números, más bien, tener en cuenta un contexto con consideraciones que permitan seguir el proceso de solución.

Evaluación formativa

Sobre el problema de evaluación automática, se reconoce sus beneficios educativos, ya que proporciona a estudiantes comentarios y una evaluación estimada de la calidad de la solución enviada.

En este punto la retroalimentación brindada a estudiantes se refiere a si el proceso de solución que se ha seguido es correcto. La retroalimentación puede ser solicitada por el estudiante durante la ejecución de la actividad, y esto apoya a su comprensión del proceso de solución, incluyendo la interpretación de los resultados. Se esperaría, una mejora del aprendizaje con manifestaciones en el aumento del número de estudiantes que aprueban una asignatura (Figura 2).

A los profesores les permite dar seguimiento y monitoreo del progreso del estudiantado, y como instrumento, se esperaría que pudiese evitar la corrección manual, reducir la carga de trabajo, en términos, de tiempo de evaluación y errores.

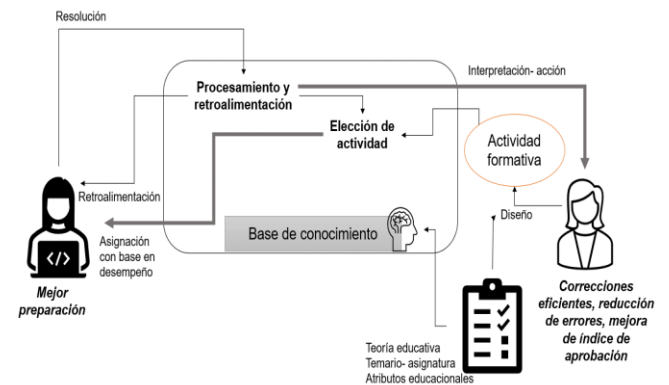


Figura 2.- Evaluación formativa e impacto educativo
Elaboración propia

La tarea de una base de conocimiento es representar un cuerpo relevante de conocimiento acerca de la aplicación específica de un dominio, con el fin de soportar a un programa que sea capaz de responder ad hoc búsquedas acerca del estado de dominio.

Retroalimentación formativa

La retroalimentación formativa conduce a cambios positivos en las prácticas de aprendizaje y enseñanza y mejoras significativas en los resultados de los estudiantes. Se espera que mediante la tecnología se entreguen comentarios procesos, claros y útiles a los estudiantes, en relación con los aprendizajes planteados por un curso.



Asimismo, es relativa a las metas de aprendizaje y está basada en evidencia, y debe permitir cerrar la brecha entre el desempeño actual y el desempeño esperado.

Hattie & Timperley (2007) definen cuatro niveles en los cuales, la retroalimentación es directa:

- Personal- La retroalimentación se expresa un comentario de tipo afectivo (usualmente positivo) al estudiante, p. ej. “Siempre haces un gran trabajo”
- Actividad- La retroalimentación se orienta a qué tan bien se desarrolló una actividad, p. ej. “Se requiere incluir lenguaje científico apropiado”
- Proceso- La retroalimentación sobre el proceso de aprendizaje subraya o relaciona, e incluso extiende la actividad, p. ej. “Requiere tomar más pasos para asegurar que usa fuentes confiables”.
- Autorregulada- La retroalimentación se orienta al seguimiento que hace el propio estudiante para regular su propio aprendizaje, p. ej. “Buscaste comentarios de pares y puedo ver que te ayudó a clarificar tu argumento”.

Cuando la retroalimentación se realiza de forma rigurosa y sistemática, los alumnos mejoran su desempeño con creciente nivel de autonomía en la gestión de su aprendizaje, y a la vez, proporciona información fundamental para que el docente tome decisiones pedagógicas que favorezcan el aprendizaje del estudiantado.

DESARROLLO

Una base de conocimiento para la evaluación formativa considera funciones de control de almacenamiento, recuperación, mantenimiento, actualización, procesamiento y visualización de reglas (Mohamed et al, 2022).

Para el desarrollo de la base de conocimiento, fue necesario definir su estructura como una tupla denotada por:

Base de conocimiento = (conceptos, relaciones, reglas) (1)

El modelo (1) indica que los conceptos son conocimiento objetivo de la evaluación que, a su vez, se componen de $\langle e, p, l \rangle$, donde e , es una entidad, por ejemplo, el tema 1 de la asignatura de Álgebra Lineal, p es una propiedad y l , es un literal, que se refiere a un valor constante formado por una secuencia de caracteres.

También se definieron relaciones, como asociaciones entre conceptos que se crean utilizando sentencias que se establecen como de:

+ Uno a uno: Relacionan un concepto con otro. Por ejemplo, afirmaciones positivas/negativas, dada la propiedad p .

+ Uno a muchos: Se establecen varios conceptos que se relacionan con otro concepto

+ Muchos a muchos: Este tipo de relación se produce cuando varios registros de conceptos se asocian a varios registros de otros conceptos.

En referencia a las reglas, se han empleado como unidades de procedimiento puntuales, que se definieron como cláusulas lógicas.

La estructura general de una cláusula es $C_1, \dots, C_n \gg A_1, \dots, A_m$, lo cual indica que si C_1, \dots, C_n es verdadero al menos en una de A_1, \dots, A_m , entonces es verdadero. Cada componente $C_1, \dots, C_n, A_1, \dots, A_m$ es un literal de la forma $P(a_1, \dots, a_k)$ o $\neg P(a_1, \dots, a_k)$, donde P es un predicado y $\neg P$ es la negación del predicado.

Cada uno de los argumentos a_1, \dots, a_k es una constante, una variable, o una función cuyos argumentos también son constantes o variables.

Las variables se denotan como pequeñas letras; las funciones se denotan por mayúsculas; y las constantes por ponen entre comillas.

La estructuración de las reglas se organizó como una estructura jerárquica, mostrada en la siguiente figura 3.

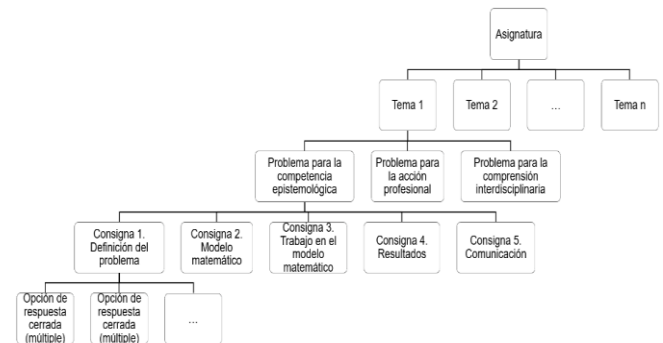
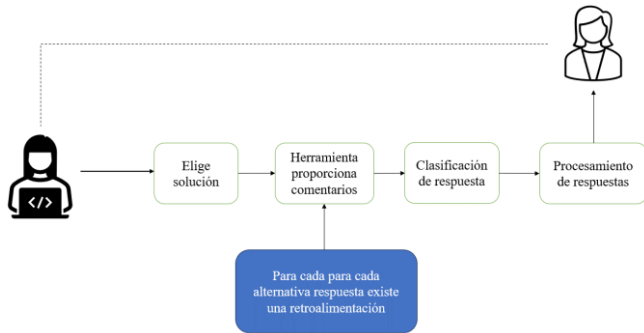


Figura 3.- Estructura de conceptos de la base Elaboración propia

En la figura 3, cada cláusula se identifica por un nivel, comenzando por la asignatura que puede contener múltiples temas. A su vez, a cada problema se le asigna un codificador, como el literal que define el tipo de problema, junto con las consignas que siguen el proceso de solución de problemas.

Con relación a la retroalimentación, la arquitectura se presenta en la figura 4, en donde se evalúa en número de aciertos sobre cada consigna, que tiene opciones cuatro alternativas de respuestas cerradas.



**Figura 4.- Arquitectura de la retroalimentación
Elaboración propia**

En este sentido se ejecuta un análisis estático de la solución que ha elegido el estudiante. Con base en el tipo de respuesta que haya dado el estudiante, se proporcionan comentarios y cápsulas, de manera que se tiene posibilidades de seguir las trayectorias que el estudiante sigue en el proceso de solución de problemas.

RESULTADOS

La asignatura de Álgebra Lineal es común a todas las carreras de ingeniería. Para la carrera de Ingeniería Industrial de la FES Aragón, el objetivo es: “Analizar y comprender los elementos básicos de espacios vectoriales y sus características principales, asimismo, entender y utilizar un lenguaje matemático formal para aplicarlos en la solución de problemas de ingeniería en cursos posteriores”.

El atributo de egreso al cual contribuye indica lo siguiente: “Los alumnos de Ingeniería Industrial de la FES Aragón, identifican, formulan y resuelven problemas de ingeniería, aplicando los principios de ingeniería, ciencias y matemáticas”.

La asignatura se constituye de seis temas: T_1 – Sistemas lineales, T_2 –Matrices y determinantes, T_3 –Espacios vectoriales, T_4 –Espacios con producto interno, T_5 –transformaciones lineales, y T_6 –operadores lineales en espacios con producto interno.

En la realidad, la práctica de evaluación formativa en el contexto de esta asignatura verdaderamente representa un desafío, ya que los docentes tradicionalmente aplican exámenes en tres momentos del semestre, y tener la posibilidad de brindar retroalimentación personalizada ante grupos numerosos, no siempre es factible. Por otro lado, los estudiantes no siempre están enganchados con asignaturas como Álgebra lineal, y durante las clases, no siempre están conscientes de que están recibiendo retroalimentación, a través de los comentarios de sus profesores.

Se generó un banco de problemas sobre el fundamento de ABP, por ejemplo, en la figura 5, se presenta una redacción del tema 1. Sistemas Lineales

Una pequeña corporación de software tomó un préstamo por \$500,000.00 para expandir su línea de software. Parte del préstamo fue a 9%, otra parte a 10% y otra a 12% de interés. Usar un sistema de ecuaciones para determinar cuánto se tomó en préstamo a cada tasa si el interés anual fue de \$52,000.00, y la cantidad prestada a 10% fue $2\frac{1}{2}$ veces la cantidad prestada a 9%.

**Figura 5.- Ejemplificación de la redacción de un problema ABP
Elaboración propia**

Para cada tema se generaron tres problemas, en total fueron 18 problemas, cuyas consignas siguieron el proceso de solución de problemas. Con esto se pretende evaluar la capacidad y el progreso del aprendizaje de los estudiantes y para identificar sus fortalezas y debilidades en un dominio de contenido determinado.

Cada problema está definido conforme a un subtema de la asignatura, así como se determinan los dominios de competencia, esto es, en términos del tipo de problema ABP: (1) para la competencia epistemológica, (2) para la acción profesional, (3) para la comprensión interdisciplinaria.

Para cada consigna hay cuatro alternativas, con una única opción correcta. Cada respuesta correcta o incorrecta recibe una retroalimentación. El fundamento de la base de conocimiento se presenta en la figura 6.

Tema	Conceptos	Relaciones	Reglas
	$T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6$	$T_1 \subset T_2 \subset T_3 \subset T_4 \subset T_5 \subset T_6$	$T_i, i = 1, 6$ Debe ser continuo
Problema P	Enfoque ABP con niveles (1) Competencia epistemológica, (2) Acción profesional, (3) Comprensión interdisciplinaria.	$P_j \subset T_i$ $j = 1, 3$ $i = 1, 6$	El sistema presenta un ejemplo de (2), el estudiante resuelve un problema del tipo (1) y (3)
Consigna C	Es el proceso de solución de problemas matemáticos $C_i i = 1, 5$	$C_i i = 1, 5$ $Si C_5, es Ok \rightarrow C_{14} es OK$ $C_{14}, es Ok \rightarrow C_{13} es OK$ $C_{13}, es Ok \rightarrow C_{12} es OK$ $C_{12}, es Ok \rightarrow C_{11} es OK$	Si las consignas no se resuelven secuencialmente, no procede
Opciones O	Designar la solución correcta	$O_j = V$ $O_j = F$ $j \neq i$	$Si O_i \geq 3 \rightarrow T_{i+1}$ $Si O_j < 3 \rightarrow P_{i+1} \cap$ $Si d_i < 3$ \rightarrow no aprueba T_i

**Figura 6.- Base de conocimiento
Elaboración propia**

En la figura 6, se ha desarrollado la base de conocimiento por su concepto, relación y reglas. Sobre la base del desempeño que tiene el estudiante, la herramienta asigna otro problema, ya sea de competencia general para evaluar la capacidad o el progreso del aprendizaje del alumno.

Cuando el alumno resuelve exitosamente, puede pasar a otro tema en forma secuencial, lo mismo ocurre con las respuestas.



Las respuestas se guardan y son proporcionadas al docente para la definición de las acciones que realizará, en torno a la mejora del desarrollo del tema en particular.

CONCLUSIONES

La base de conocimiento provee mecanismo para la gestión de la evaluación formativa en problemas matemáticos del tipo ABP. Las reglas que definen a la base, de tipo determinístico consiguen un sistema automático, que se puede comportar como humanos expertos en el dominio de evaluación.

En este caso, la base de conocimiento contiene variables y el conjunto de reglas que definen a la evaluación, donde las reglas son cláusulas lógicas que relacionan uno o más conceptos del dominio.

Uno de los retos es la administración de las pruebas, en el tiempo que los docentes determinen para implementar un sistema de este tipo.

El artículo ha sido posible gracias al apoyo recibido de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico DGAPA de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), a través del proyecto PAPIME PE112723.

REFERENCIAS

- Bloom, B., Hastings J.T., Madaus, G.F. (1971). *Handbook of formative and summative evaluation of student learning*. Nueva York. McGraw-Hill.
- Consejo de Acreditación de la Enseñanza de Ingeniería. (2023). *Manual de recursos para la acreditación 2025*. Manual de trabajo.
- Du, X. Graaff, E., Kolmos, A. (2009). *Research on PBL Practice on Engineering Education*. Sense: The Netherlands.
- Hattie, J., Timperley, H. (2007). The power of feedback. *Review of Educational Research*. Vol. 77 (1), pp. 81-112-
- Verschaffel, L., Greer, B. y De Corte, E. (2000). *Making sense of word problems*. Lisse. Países Bajos: Swets & Zeitlinger.
- Mohamed, M. Z. b., Hidayat, R., Suhaizi, N. N. b., Sabri, N. b. M., Mahmud, M. K. H. b., & Baharuddin, S. N. b. (2022). Artificial intelligence in mathematics education: A systematic literature review. *International Electronic Journal of Mathematics Education*, 17(3), em0694. <https://doi.org/10.29333/iejme/12132> Exploring an instructional design for learning analytic geometry in a computer-based environment.

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Nelly Rigaud Téllez: Ingeniera Mecánica Eléctrica egresada de la Universidad Anáhuac, Maestra en Ingeniería (Planeación) de la Facultad de Ingeniería de la UNAM y Doctora en Ingeniería de Sistemas por la Facultad de Ingeniería y el Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología de la UNAM.

Roberto Blanco Bautista: Ingeniero Mecánico Electricista por la Universidad Veracruzana, Maestro en Ingeniería por el Instituto Politécnico Nacional. Decano de la carrera de Ingeniería en Computación de la FES Aragón

Mario Sosa Rodríguez: Ingeniero Civil por la Facultad de Estudios Superiores Aragón, Maestro en Ingeniería (Planeación) por la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

Jefe de la División de las Ciencias Fisicomatemáticas y de las Ingenierías.

Leonel Gualberto López Salazar: Licenciado en Matemáticas Aplicada y Computación por la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, Maestro en Gestión de Tecnologías de Información por la Universidad TEC Milenio, y Doctor en Educación por parte de la UCI.



Ecuación de Laplace con condiciones de frontera no homogéneas

Esiquio Martin Gutierrez Armenta**, Marco Antonio Gutiérrez Villegas*, Alfonso Jorge Quevedo Martínez **, Israel Isaac Gutiérrez Villegas *** y *, José Alejandro Reyes Ortiz*, María de Lourdes Sánchez Guerrero*, Josué Figueroa González* y Javier Norberto Gutiérrez Villegas*******

RESUMEN

Este artículo tiene la finalidad de resolver la ecuación Pierre-Simon Laplace, dar una aplicación de esta, la cual es de segundo orden del tipo elíptico, en una región cuadrada que se puede extender a un rectángulo de acuerdo a sus dimensiones, con sus cuatro condiciones diferentes de tipo Peter Gustav Lejeune Dirichlet, utilizando el uso del principio de superposición para descomponer el problema en cuatro problemas, mediante este principio las cuales serán resueltas por el método de variable separables o método de Jean Baptiste Joseph Fourier, esta metodología se puede reproducir a cualquier tipo que se utiliza en fenómenos físicos y químicos o en general rigen los campos potenciales en regiones sin fuente. Por ejemplo, campos potenciales, como el campo de atracción de la gravedad, campos eléctricos y electromagnéticos.

ABSTRACT

This article has the purpose of solving the Pierre-Simon Laplace equation, giving an application of it, which is of the second order of the elliptic type, in a regular square that can be extended to a rectangle according to its dimensions, with its four different conditions of the Peter Gustav Lejeune Dirichlet type, using the use of the superposition principle to break down the problem into four problems, using this principle which will be solved by the separable variable method or the Jean Baptiste Joseph Fourier method, this methodology can be reproduced to any type that is used in physical and chemical phenomena or in general governs potential fields in regions without a source. For example, potential fields, such as the field of attraction of gravity, electric and electromagnetic fields.

Palabras claves: equation, variable, border, overlap

* UAM-Azcapotzalco, Departamento de Sistemas Área, Sistemas Computacionales. emga@azc.uam.mx Doctor, magv@azc.uam.mx Doctor, jaro@azc.uam.mx Doctor, jfgo@azc.uam.mx M. en C., lsg@azc.uam.mx M. en C.

** UAM-Azcapotzalco, Departamento de Administración, Área de Matemáticas y Departamento de Sistemas, Área Sistemas Computacionales. ajqm@azc.uam.mx M. en G. E.

*** Tecnológico Nacional de México (TecNM)- Tecnológico de estudios superiores de Ecatepec (TESE)-División de ingeniería en sistemas computación. iigv@hotmail.com M. en C., jgutierrez@tese.edu.mx M. en C.

**** IPN-Escuela Superior de Física y Matemáticas – Departamento de Ingeniería y Ciencias Sociales. iigv@hotmail.com M. en C.

INTRODUCCIÓN

Una de las primeras técnicas fue presentada por Bernoulli en 1953 que consista en encontrar la solución como una sumatoria que empezaba desde $i=1$ hasta ∞ , se tiene una infinidad de coeficientes que eran multiplicada por senos y cosenos que dependían también de este índice que resolvían analíticamente la ecuación de la cuerda. Jean Baptiste Joseph Fourier presento el trabajo 1807 de transferencia de calor, UTN Facultad Regional Resistencia (2023), desarrollo el método de separación de variables Coleman (2005), Zill (2015), Snider. (2010). utilizando esta técnica resolvió el problema de transferencia de calor, con geometrías clásicas como: cuadrados, rectángulos, círculos, cilindros y esferas son obtenidos en su libro de Benjan (1993), pero otros problemas con una geometría combinada se tienen que resolver utilizando mapeo conforme Zill (2011). Para este se tiene que utilizar variable compleja, la solución analítica a veces son complicados, cuando se tienen condiciones de frontera no homogéneas, se utiliza el principio de superposición para resolver la ecuación de Laplace Pierre-Simon Laplace se Allan en M. Necati Ozisik (2013) para dos dimensiones en un Cuadrado pero no se realiza todo el desarrollo matemático, obteniendo este resultado se realiza un cambio de dimensiones de este para obtener la solución analítica de un rectángulo.

JUSTIFICACIÓN

Debido a la complejidad de los problemas en la mecánica del medio continuo, estas están modeladas la mayoría por ecuaciones diferenciales parciales, en dos o tres dimensiones, resultando el procedimiento más complejo para obtener una solución analítica, esto para topologías clásicas que se enseñan desde nuestros primeros cursos de geometría, pero para casos un poco más complicados se puede utilizar mapeo conforme para resolver el problema. Pero por lo general las geometrías del modelado son mucho más complejas en las cuales ya no es posible utilizar las técnicas anteriores entonces se deben aproximación a esta mediante métodos numéricos. estos deben ser validados con las soluciones analíticas. en el caso de complejidad geométrica alguno de estos métodos. Para este tipo de problemas es necesario que la solución este analizada por un experto en este tipo de problemas.

APLICACIÓN

Se utilizará el método de separación de variables y el principio de superposición para resolver el problema de conducción de calor en estado estable para un rectángulo finito con las siguientes dimensiones $0 \leq x \leq a$, $0 \leq y \leq b$. Las condiciones de frontera





se mantienen a diferentes temperaturas, las cuales son funciones de posición a lo largo de esta. El problema de conducción de calor de manera matemática con valores en la frontera viene dado por:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0$$

$$0 \leq x \leq a \quad 0 \leq y \leq b \quad (1)$$

Condiciones de frontera:

$$T(0, y) = f_1(y) \quad x = 0 \quad 0 \leq y \leq b \quad (1a)$$

$$T(a, y) = f_2(y) \quad x = a = L \quad 0 \leq y \leq b \quad (1b)$$

$$T(x, 0) = f_3(x) \quad y = 0 \quad 0 \leq x \leq a \quad (1c)$$

$$T(a, y) = f_4(x) \quad y = b = W \quad 0 \leq x \leq a \quad (1d)$$

Donde $f_3(y)f_4(y) \in [0, a]$ y $f_1(y)f_2(y) \in [0, b]$ funciones continuas respectivamente en su intervalo. Se tiene que $T = T(x, y)$ dependen de las variables x, y .

SOLUCIÓN

Por el principio de superposición separamos el sistema (1), con sus condiciones de frontera (1a, b, c, d) en cuatro problemas simples donde la solución general viene dada por (2).

$$T(x, y) = T_1(x, y) + T_2(x, y) + T_3(x, y) + T_4(x, y) \quad \frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_4}{\partial y^2} = 0 \quad (2)$$

La figura 1 ilustra la descomposición del problema (1) con sus condiciones de frontera (1 a, b, c, d), en cuatro problemas menos complejos.

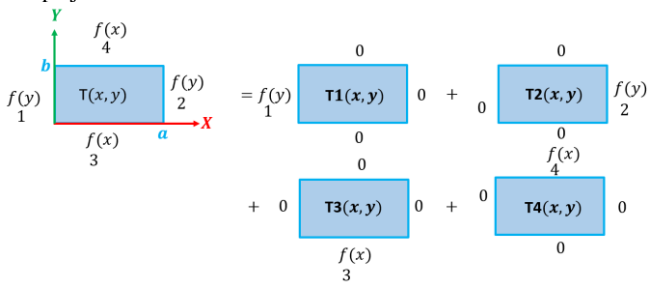


Figura 1.- Superposición aplicada a un rectángulo finito

Utilizando el principio de superposición se expresarán los cuatro casos en forma matemática con sus condiciones de frontera.

Formulación matemática del Caso 1

Donde la función $T_1(x, y)$ está representada como:

$$\frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_1}{\partial y^2} = 0$$

$$0 \leq x \leq a = L \quad 0 \leq y \leq b = W \quad (1.1)$$

Condiciones de frontera para este primer caso:

$$T_1(x, 0) = 0 \quad 0 < x < a = L \quad (1.1 a)$$

$$T_1(x, b) = 0 \quad 0 < x < a = L \quad (1.1 b)$$

$$T_1(0, y) = f_1(y) \quad 0 < y < b = W \quad (1.1 c)$$

$$T_1(a, y) = 0 \quad 0 < y < b = W \quad (1.1 d)$$

Formulación matemática del Caso 2

Donde la función $T_2(x, y)$ está representada como:

$$\frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_2}{\partial y^2} = 0$$

$$0 \leq x \leq a = L \quad 0 \leq y \leq b = W \quad (2.1)$$

Condiciones de frontera para el caso 2.

$$T_2(x, 0) = 0 \quad 0 \leq x \leq a = L \quad (2.1. a)$$

$$T_2(x, b) = 0 \quad 0 \leq x \leq a = L \quad (2.1. b)$$

$$T_2(b, y) = f_2(y) \quad 0 \leq y \leq b = W \quad (2.1. c)$$

$$T_2(a, y) = 0 \quad 0 \leq y \leq b = W \quad (2.1. d)$$

Formulación matemática del Caso 3

Donde la función $T_3(x, y)$ se representa como:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^3} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^3} = 0$$

$$[0, a] \times [0, b] \quad 0 \leq x \leq a = L \quad 0 \leq y \leq b = W \quad (3.1)$$

Condiciones de frontera para el caso 3.

$$T_3(x, 0) = f_3(x) \quad (3.1 a)$$

$$T_3(x, b) = 0 \quad (3.1 b)$$

$$T_3(0, y) = 0 \quad (3.1 c)$$

$$T_3(x, y) = 0 \quad (3.1 d)$$

$$T_3(a, y) = 0 \quad (3.1 e)$$

Formulación matemática del Caso 4

Donde la función se representa como:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^4} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^4} = 0$$

$$0 \leq x \leq a = L \quad 0 \leq y \leq b = W \quad (4.1)$$

Condiciones de frontera para el caso 4.

$$T_4(x, 0) = 0 \quad 0 \leq x \leq a = L \quad (4.1 a)$$

$$T_4(x, b) = f_4(y) \quad 0 \leq x \leq a = L \quad (4.1 b)$$

$$T_4(b, y) = 0 \quad 0 \leq y \leq b = W \quad (4.1 c)$$

$$T_4(a, y) = 0 \quad 0 \leq y \leq b = W \quad (4.1 d)$$



Solución para el caso 1

Donde la función $T_1(x, y)$ está representada como:

$$\frac{\partial^2 T_1(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_1(x, y)}{\partial y^2} = 0$$

$$0 \leq x \leq a = L \quad 0 \leq y \leq b = W \quad (1.1)$$

Donde se debe de cumplir que $T_1(x, y) = X(x)Y(y) \neq 0$

Utilizando las condiciones de frontera del caso 1 que son 1a, 1b, 1c y 1d. Las ecuaciones diferenciales de segundo orden asociadas al sistema.

$$\frac{d^2 Y(y)}{dy^2} + \lambda^2 Y = 0, \frac{d^2 X(x)}{dx^2} - \lambda^2 X(x) = 0, \lambda^2 > 0 \quad (1.1.e)$$

Derivando dos veces parcialmente y separando variable se tiene

$$\frac{X''}{X} = -\frac{Y''}{Y} = \lambda^2.$$

$$\frac{d^2 Y(y)}{dy^2} + \lambda^2 Y(y) = 0, \lambda^2 > 0 \quad (1.1.f)$$

$$\frac{d^2 X(x)}{dx^2} - \lambda^2 X(x) = 0, \lambda^2 > 0 \quad (1.1.g)$$

La solución de la ecuación (1.1.g), se debe llevar a una ecuación auxiliar, dada por $\alpha^2 + \lambda^2 = 0$ así que las raíces de esta son $\alpha = \pm \lambda i$, la solución general es:

$$Y(y) = c_1 \text{sen}(\lambda y) + c_2 \text{cos}(\lambda y) \quad (1.1.h)$$

Utilizando $T_1(x, 0) = T_1(a, y) = 0$ se deduce que $Y(0) = Y(a) = 0$ con estas condiciones de frontera para $Y(y)$ tiene soluciones diferentes de cero cuando $c_1 \neq 0$, entonces $\text{sen}(\lambda a) = 0$ de esta ecuación se obtienen los valores para que el seno sea igual a cero esto solo pasa cuando $\lambda a = n\pi$, $T_1(x, y)$,

$\lambda = \frac{n\pi}{a}$ de donde se obtienen los Eigenvalores y Eigenfunciones.

$$\lambda_n = \frac{n\pi}{a}, Y_n(y) = \text{sen}\left(\frac{n\pi y}{a}\right) \quad (1.1.i)$$

Para la ecuación (1.1.f) la ecuación auxiliar $\alpha^2 - \lambda^2 = 0$ las soluciones son $\alpha = \pm \lambda$. la solución general es:

$$X(x) = c_1 e^{\lambda x} + c_2 e^{-\lambda x} \quad (1.1.j)$$

Para λ_n se tiene la solución para $X_n(x)$ como

$$X_n(x) = c_1 e^{\lambda x} + c_2 e^{-\lambda x} = c_1 e^{\frac{n\pi}{a}x} + c_2 e^{-\frac{n\pi}{a}x} \quad (1.1.k)$$

evaluando $X(0)$ se obtiene

$$X_n(0) = c_1 e^{\lambda \cdot 0} + c_2 e^{-\lambda \cdot 0} = c_1 e^{\frac{n\pi \cdot 0}{a}} + c_2 e^{-\frac{n\pi \cdot 0}{a}} = c_1 + c_2 = 0 \quad (1.1.m)$$

De donde:

$$c_1 = -c_2 \quad (1.1.n)$$

se tiene que $Y(b) = 0$ de estas nos interesan las $Y_n(y)$ que cumplan, donde c_1, c_2 son constantes arbitrarias. Aplicando la

condición de la ecuación 1.1.d. $X_n(x) = c_1 e^{\frac{n\pi}{a}x} + c_2 e^{-\frac{n\pi}{a}x}$

sumando y restando $e^{-\frac{n\pi b}{a}}$ de la siguiente manera.

$$X_n(x) = c_1 e^{\frac{n\pi}{a}x} e^{-\frac{n\pi b}{a}} + c_1 e^{\frac{n\pi}{a}x} e^{\frac{n\pi b}{a}}$$

$$X_n(x) = c_1 e^{\frac{n\pi}{a}x - \frac{n\pi b}{a}} + c_1 e^{\frac{n\pi}{a}x + \frac{n\pi b}{a}}$$

$$X_n(x) = c_1 e^{\frac{n\pi(x-a)}{a}} + c_1 e^{\frac{n\pi(x+a)}{a}}$$

De las identidades del seno y coseno hiperbólico,

$\text{senh}(x) = \frac{1}{2}(e^x - e^{-x})$, $\text{cosh}(x) = \frac{1}{2}(e^x + e^{-x})$, así,

$X_n(x) = c_1 \text{senh}(x) + c_1 \text{cosh}(x)$, evaluando, $x = a = 0$ se tiene $X_n(0) = c_1 \text{senh}(0) + c_1 \text{cosh}(0)$, $\text{senh}(0) = 0$ así que se

conserva el termino $X_n(x) = c_1 \text{cosh}(x) = c_1 e^{\frac{n\pi(x-a)}{a}}$,

$X_n(x) = c_1 \text{senh}(x) = c_1 e^{\frac{n\pi(x-a)}{a}}$ se puede tomar el senh o el cosh , solo hay que tener cuidado con los signos que arroje la sustitución,

de esta se proponer otro valor constante que es $e^{\frac{n\pi b}{a}}$, sin pedida de generalidad ya que son constante, el producto de una constante por otra constante es contante se toma a c_1 como:

$$c_1 = -c_2 e^{\frac{n\pi b}{a}} \quad (1.1.o)$$

Donde

$$c_2 = c_1 e^{\frac{n\pi b}{a}} \quad (1.1.p)$$

Utilizando este término nos llevara a una función hiperbólica donde se involucra a $x = a$ & $y = b$ las cuales son las dimensiones de la placa. Sustituyendo la ecuación (1.1.o) y la ecuación (1.1.p) en la ecuación (1.1.k).

$$X_n(x) = \left(c_2 e^{-\frac{n\pi b}{a}} e^{\frac{n\pi x}{a}} - c_1 e^{\frac{n\pi b}{a}} e^{\frac{n\pi x}{a}} \right) \quad (1.1.q)$$

$$X_n(x) = \left(c_2 e^{-\frac{n\pi b}{a}} e^{\frac{n\pi x}{a}} - -c_1 e^{\frac{n\pi b}{a}} e^{\frac{n\pi x}{a}} \right) =$$

$$\left(-c_2 e^{\frac{n\pi((x-b))}{a}} + c_1 e^{\frac{n\pi((x-b))}{a}} \right) = \quad (1.1.r)$$



De donde de la ecuación (1.1.n) $-c_1 = c_2$

$$X_n(x) = \left(-c_1 e^{\frac{n\pi(b-x)}{a}} + c_1 e^{-\frac{n\pi(b-x)}{a}} \right) = c_1 \left(e^{\frac{n\pi(b-x)}{a}} - e^{-\frac{n\pi(b-x)}{a}} \right) \quad (1.1.s)$$

De la identidad del seno hiperbólico $\sinh(x) = \frac{1}{2}(e^x - e^{-x})$, el medio es integrado a la constante.

$$X_n(x) = c_n \sinh\left(\frac{n\pi(b-x)}{a}\right) \quad (1.1.t)$$

La solución

$$T_1(x, y) = \sum_{n=1}^{\infty} c_n \sinh\left(\frac{n\pi(b-x)}{a}\right) \sin\left(\frac{n\pi y}{a}\right) \quad (1.1.u)$$

Para satisfacer la condición de frontera no homogénea de la ecuación (1.1.a)

$$T_1(0, y) = \sum_{n=1}^{\infty} c_n \sinh\left(\frac{n\pi(b-x)}{a}\right) \sin\left(\frac{n\pi y}{a}\right) = f_1(y) \quad (1.1.v)$$

Se puede también utilizar $a = L, b = W$, donde $c_n \sinh\left(\frac{n\pi b}{a}\right)$ son los coeficientes de la serie de Fourier, de la función senos $f_1(y)$ para esto se desarrolla este alrededor de $x=0$. Donde:

$$c_n \sinh\left(\frac{n\pi b}{a}\right) = \frac{2}{a} \int_0^L f_1(y') \sin\left(\frac{n\pi y'}{L}\right) dy' \quad (1.1.w)$$

despejando a c_n para $c_n = 1, 2, \dots$ da por la ecuación (1.1.x)

$$c_n = \frac{2}{L \sinh\left(\frac{n\pi b}{a}\right)} \int_0^L f_1(y') \sin\left(\frac{n\pi y'}{L}\right) dy' \quad (1.1.x)$$

Sustituyendo ecuación (1.1.x) en la ecuación (1.1.v) la solución de este caso 1. Tomando $L=a$, Viene dado por.

$$T_1(x, y) = \frac{2}{L \sinh\left(\frac{n\pi b}{L}\right)} \sum_{n=1}^{\infty} \sinh\left(\frac{n\pi(b-x)}{L}\right) \int_0^L f_1(y') \sin\left(\frac{n\pi y'}{L}\right) dy' \quad (1.1.y)$$

Solución para el caso 2

Donde la función $T_2(x, y)$ está representada como:

$$\frac{\partial^2 T_2(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_2(x, y)}{\partial y^2} = 0 \quad (2.1)$$

$$0 \leq x \leq a = L \quad 0 \leq y \leq b = W$$

Donde se debe de cumplir que $T_2(x, y) = X(x)Y(y) \neq 0$.

En las Condiciones de frontera para el caso 2 que son 2a, 2b, 2c y 2d. Derivando dos veces parcialmente y separando variable se tiene.

$$-\frac{X''}{X} = \frac{Y''}{Y} = \lambda^2$$

Las ecuaciones diferenciales de segundo orden asociadas al sistema.

$$\frac{d^2 Y(y)}{dy^2} - \lambda^2 Y = 0, \frac{d^2 X(x)}{dx^2} + \lambda^2 X(x) = 0, \lambda^2 > 0 \quad (2.1.e)$$

$$\frac{d^2 Y(y)}{dy^2} - \lambda^2 Y(y) = 0, \lambda^2 > 0 \quad (2.1.f)$$

$$\frac{d^2 X(x)}{dx^2} + \lambda^2 X(x) = 0, \lambda^2 > 0 \quad (2.1.g)$$

La solución de la ecuación (2.1.g), se debe llevar a una ecuación auxiliar, dada por $\alpha^2 + \lambda^2 = 0$ así que las raíces de esta son $\alpha = \pm \lambda i$, la solución general es:

$$Y(y) = c_1 \sin(\lambda y) + c_2 \cos(\lambda y) \quad (2.1.h)$$

Utilizando $T_2(x, 0) = T_2(x, b) = 0$ se deduce que $Y(0) = Y(b) = 0$ con estas condiciones de frontera para $Y(y)$ tiene soluciones diferentes de cero cuando $c_1 \neq 0$, entonces $\sin(\lambda a) = 0$ de esta ecuación se obtienen los valores para que el seno sea igual a cero esto solo pasa cuando $\lambda b = n\pi$, $\lambda = \frac{n\pi}{b}$ de donde se obtienen los eigenvalores y eigenfunciones.

$$\lambda_n = \frac{n\pi}{b}, Y_n(y) = \sin\left(\frac{n\pi y}{b}\right), para n = 1, 2, \dots \quad (2.1.i)$$

Para la ecuación (2.1.f) la ecuación auxiliar $\alpha^2 - \lambda^2 = 0$ las soluciones son $\alpha = \pm \lambda$ la solución general es:

$$X(x) = c_1 e^{\lambda x} + c_2 e^{-\lambda x} \quad (2.1.j)$$

Para λ_n se tiene la solución para $X_n(x)$ como

$$X_n(x) = c_1 e^{\lambda x} + c_2 e^{-\lambda x} = c_1 e^{\frac{n\pi x}{b}} + c_2 e^{-\frac{n\pi x}{b}} \quad (2.1.k)$$

evaluando $X(0)$ se obtiene

$$X_n(0) = c_1 e^{20} + c_2 e^{-20} = c_1 e^{\frac{n\pi 0}{a}} + c_2 e^{-\frac{n\pi 0}{a}} = c_1 + c_2 = 0 \quad (2.1.m)$$

De donde

$$c_1 = -c_2 \quad (2.1.n)$$

Ahora aplicando la condición $T_2(0, b) = 0$ se tiene que $Y(b) = 0$ de estas nos interesan las $Y_n(y)$ que cumplan, donde



c_1, c_2 son constantes arbitrarias. se proponer otro valor constante que es $e^{\frac{n\pi a}{b}}$, esto sin pedida de generalidad ya que son constante, el producto de una constante por otra constante es contante se toma a c_1 como:

$$c_1 = -c_2 e^{\frac{n\pi a}{b}} \quad (2.1.o)$$

Donde:

$$-c_2 = c_1 e^{\frac{n\pi a}{b}} \quad (2.1.p)$$

Utilizando este término nos llevara a una función hiperbólica donde se involucra la $x=a$ y $y=b$ las cuales son las dimensiones de la placa.

Sustituyendo la ecuación (2.1.o) y la ecuación (2.1.p) en la ecuación (2.1.k)

$$X_n(x) = \left(c_2 e^{-\frac{n\pi a}{b}} e^{\frac{n\pi x}{b}} - c_1 e^{\frac{n\pi a}{b}} e^{-\frac{n\pi x}{b}} \right) \quad (2.1.q)$$

$$X_n(x) = \left(-c_2 e^{\frac{n\pi a}{b}} e^{\frac{n\pi x}{b}} - c_1 e^{\frac{n\pi a}{b}} e^{-\frac{n\pi x}{b}} \right) =$$

$$\left(-c_2 e^{\frac{n\pi(x-a)}{b}} + c_1 e^{\frac{n\pi(x-a)}{b}} \right) = \quad (2.1.r)$$

De donde de la ecuación (2.1.n) $-c_1 = c_2$

$$X_n(x) = \left(-c_1 e^{\frac{n\pi(a-x)}{b}} + c_1 e^{-\frac{n\pi(a-x)}{b}} \right) = \quad (2.1.s)$$

$$c_1 \left(e^{\frac{n\pi(a-x)}{b}} - e^{-\frac{n\pi(a-x)}{b}} \right) c_1 \left(e^{\frac{n\pi(a-x)}{b}} - e^{-\frac{n\pi(a-x)}{b}} \right) =$$

De la identidad del seno hiperbólico $\sinh(x) = \frac{1}{2}(e^x - e^{-x})$, el medio es integrado a la constante.

$$X_n(x) = c_n \sinh\left(\frac{n\pi(a-x)}{b}\right) \quad (2.1.t)$$

La solución

$$T_2(x, y) = \sum_{n=1}^{\infty} c_n \sinh\left(\frac{n\pi(a-x)}{b}\right) \sin\left(\frac{n\pi y}{b}\right) \quad (2.1.u)$$

Para satisfacer la condición de frontera no homogénea de la ecuación (2.1.c)

$$T_2(b, y) = \sum_{n=1}^{\infty} c_n \sinh\left(\frac{n\pi(a-b)}{b}\right) \sin\left(\frac{n\pi y}{b}\right) = f_2(y) \quad (2.1.v)$$

Se puede también utilizar $b=W$, donde $c_n \sinh\left(\frac{n\pi a}{b}\right)$ son los coeficientes de la serie de Fourier, de la función senos $f_1(y)$ para esto se desarrolla este alrededor de $y=0$, donde

$$c_n \sinh\left(\frac{n\pi(a-b)}{b}\right) = \frac{2}{b} \int_0^W f_1(y') \sin\left(\frac{n\pi y'}{W}\right) dy' \quad (2.1.w)$$

, despejando a c_n , para $c_n = 1, 2, \dots$ dada por la ecuación (2.1.w)

$$c_n = \frac{2}{W \sinh\left(\frac{n\pi(a-b)}{w}\right)} \int_0^W f_1(y') \sin\left(\frac{n\pi y'}{L}\right) dy' \quad (2.1.x)$$

Sustituyendo ecuación (2.1.x) en la ecuación (2.1.v) la solución de este caso 2. Tomando $W=b$, Viene dado por.

$$T_2(x, y) = \frac{2}{W \sinh\left(\frac{n\pi(a-b)}{W}\right)} \sum_{n=1}^{\infty} \int_0^L f_2(y') \sin\left(\frac{n\pi y'}{W}\right) dy' \quad (2.1.y)$$

Solución del caso 3.

Realizando análogo al anterior.

Donde la función $T_3(x, y)$ está representada como

$$\frac{\partial^2 T_3(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_3(x, y)}{\partial y^2} = 0$$

$$0 \leq x \leq a = L \quad 0 \leq y \leq b = W \quad (3.1)$$

Donde se debe de cumplir que $T_3(x, y) = X(x)Y(y) \neq 0$

Con las Condiciones de frontera para el tercer caso mencionadas en el primer parte que son 3a, 3b, 3c y 3d.

Observación: Derivando dos veces parcialmente y separando variable se tiene $-\frac{X''}{X} = \frac{Y''}{Y} = \lambda^2$

Las ecuaciones diferenciales de segundo orden asociadas al sistema.

$$\frac{d^2 Y(y)}{dy^2} + \lambda^2 Y = 0, \frac{d^2 X(x)}{dx^2} - \lambda^2 X(x) = 0, \lambda^2 > 0 \quad (3.1.e)$$

$$\frac{d^2 Y(y)}{dy^2} + \lambda^2 Y(y) = 0, \lambda^2 > 0 \quad (3.1.f)$$

$$\frac{d^2 X(x)}{dx^2} - \lambda^2 X(x) = 0, \lambda^2 > 0 \quad (3.1.g)$$

La solución de la ecuación (3.1.g), se debe llevar a una ecuación auxiliar, dada por $\alpha^2 + \lambda^2 = 0$ así que las raíces de esta son $\alpha = \pm \lambda i$, la solución general es:



$$X(x) = c_1 \text{sen}(\lambda x) + c_2 \text{cos}(\lambda x) \quad (3.1.h)$$

Utilizando $T_3(0, y) = T_3(a, y) = 0$ se deduce que $Y(0) = Y(a) = 0$ con estas condiciones de frontera para $Y_n(y)$ tiene soluciones diferentes de cero cuando $c_1 \neq 0$, entonces $\text{sen}(\lambda a) = 0$ de esta ecuación se obtienen los valores para que el seno sea igual a cero, esto solo se cumple cuando $\lambda a = n\pi$, $\lambda = \frac{n\pi}{a}$ de donde se obtienen los eigenvalores y eigenfunciones.

$$\lambda_n = \frac{n\pi}{a}, X_n(x) = \text{sen}\left(\frac{n\pi x}{a}\right), \text{ para } n = 1, 2, \dots \quad (3.1.i)$$

Para la ecuación (3.1.f) la ecuación auxiliar $\alpha^2 - \lambda^2 = 0$ las soluciones son $\alpha = \pm \lambda$ la solución general es:

$$Y(y) = c_1 e^{\lambda y} + c_2 e^{-\lambda y} \quad (3.1.j)$$

Para λ_n se tiene la solución para $Y_n(y)$ como

$$y_n(y) = c_1 e^{\lambda y} + c_2 e^{-\lambda y} = c_1 e^{\frac{n\pi y}{a}} + c_2 e^{-\frac{n\pi y}{a}} \quad (3.1.k)$$

evaluando $X_n(0)$ se obtiene

$$\begin{aligned} X_n(0) &= c_1 e^{\lambda 0} + c_2 e^{-\lambda 0} = \\ c_1 e^{\frac{n\pi 0}{a}} + c_2 e^{-\frac{n\pi 0}{a}} &= c_1 + c_2 = 0 \end{aligned} \quad (3.1.m)$$

De donde

$$c_1 = -c_2 \quad (3.1.n)$$

Ahora aplicando la condición $T_3(x, b) = 0$ se tiene que $Y(b) = 0$ de estas nos interesan las $Y_n(y)$ que cumplan, donde c_1, c_2 son constantes arbitrarias. se proponer otro valor constante que es $e^{\frac{n\pi b}{a}}$, esto sin perdida de generalidad ya que son constante, el producto de una constante por otra constante es contante, se toma a c_1 como:

$$c_1 = -c_2 e^{\frac{n\pi b}{a}} \quad (3.1.o)$$

Donde:

$$c_2 = c_1 e^{\frac{n\pi b}{a}} \quad (3.1.p)$$

Utilizando este término nos llevara a una función hiperbólica donde se involucra la $x = a$ y $y = b$ las cuales son las dimensiones de la placa.

Sustituyendo la ecuación (3.1.o) y la ecuación (3.1.p) en la ecuación (3.1.k)

$$y_n(y) = \left(c_2 e^{\frac{n\pi b}{a}} e^{\frac{n\pi y}{a}} - c_1 e^{\frac{n\pi b}{a}} e^{-\frac{n\pi y}{a}} \right) \quad (3.1.q)$$

$$\begin{aligned} y_n(y) &= \left(c_2 e^{\frac{n\pi b}{a}} e^{\frac{n\pi y}{a}} - c_1 e^{\frac{n\pi b}{a}} e^{-\frac{n\pi y}{a}} \right) = \\ &= \left(-c_2 e^{\frac{n\pi(y-b)}{a}} + c_1 e^{\frac{n\pi(y-b)}{a}} \right) = \end{aligned} \quad (3.1.r)$$

De donde de la ecuación (3.1.n) $-c_1 = c_2$

$$\begin{aligned} Y_n(y) &= \left(-c_1 e^{\frac{n\pi(b-y)}{a}} + c_1 e^{\frac{n\pi(b-y)}{a}} \right) = \\ c_1 \left(e^{\frac{n\pi(b-y)}{a}} - e^{\frac{n\pi(b-y)}{a}} \right) &= \end{aligned} \quad (3.1.s)$$

De la identidad del seno hiperbólico $\text{senh}(x) = \frac{1}{2}(e^x - e^{-x})$, el medio es integrado a la constante-

$$Y_n(x) = c_n \text{senh}\left(\frac{n\pi(b-y)}{a}\right) \quad (3.1.t)$$

La solución

$$T_3(x, y) = \sum_{n=1}^{\infty} c_n \text{senh}\left(\frac{n\pi(b-y)}{a}\right) \text{sen}\left(\frac{n\pi x}{a}\right) \quad (3.1.u)$$

Para satisfacer la condición de frontera no homogénea de la ecuación (1.1.c)

$$T_3(x, 0) = \sum_{n=1}^{\infty} c_n \text{senh}\left(\frac{n\pi(b-y)}{a}\right) \text{sen}\left(\frac{n\pi x}{a}\right) = f_1(y) \quad (3.1.v)$$

Se puede también utilizar $a = L$, donde $c_n \text{senh}\left(\frac{n\pi b}{a}\right)$ son los coeficientes de la serie de Fourier, de la función senos de $f_3(x)$ para esto se desarrolla este alrededor de $x = 0$, donde

$$c_n \text{senh}\left(\frac{n\pi b}{a}\right) = \frac{2}{a} \int_0^L f_3(x') \text{sen}\left(\frac{n\pi x'}{L}\right) dx' \quad (3.1.w)$$

, despejando a c_n , para $c_n = 1, 2, \dots$ dada por la ecuación (3.1.x).

$$c_n = \frac{2}{L \text{senh}\left(\frac{n\pi b}{a}\right)} \int_0^L f_1(x') \text{sen}\left(\frac{n\pi x'}{L}\right) dx' \quad (3.1.x)$$

Sustituyendo ecuación (3.1.x) en la ecuación (3.1.v) la solución de este caso 3. Tomando $L=a$, Viene dado por.



$$T_3(x, y) = \frac{2}{L \operatorname{senh}\left(\frac{n\pi b}{L}\right)} \sum_{n=1}^{\infty} \operatorname{senh}\left(\frac{n\pi(b-y)}{L}\right) \int_0^L f_3(x') \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi x'}{L}\right) dx' \quad (3.1.y)$$

Solución para el caso 4.

Donde la función $T_4(x, y)$ está representada como

$$\frac{\partial^2 T_4(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_4(x, y)}{\partial y^2} = 0 \quad (4.1)$$

$$0 \leq x \leq a = L \quad 0 \leq y \leq b = W$$

Donde se debe de cumplir que $T_2(x, y) = X(x)Y(y) \neq 0$
Condiciones de frontera para este cuarto caso que son 4a, 4b, 4c y 4d que se encuentran al inicio.

Derivando dos veces parcialmente y separando variable se tiene:

$$\frac{X''}{X} = \frac{Y''}{Y} = \lambda^2$$

Las ecuaciones diferenciales de segundo orden asociadas al sistema.

$$\frac{d^2 X(x)}{dx^2} + \lambda^2 X(x) = 0, \frac{d^2 Y(y)}{dy^2} - \lambda^2 Y(y) = 0, \lambda^2 > 0 \quad (4.1.e)$$

$$\frac{d^2 X(x)}{dx^2} + \lambda^2 X(x) = 0, \lambda^2 > 0 \quad (4.1.f)$$

$$\frac{d^2 Y(y)}{dy^2} - \lambda^2 Y(y) = 0, \lambda^2 > 0 \quad (4.1.g)$$

La solución de la ecuación (4.1.g), se debe llevar a una ecuación auxiliar, dada por $\alpha^2 + \lambda^2 = 0$ así que las raíces de esta son $\alpha = \pm \lambda i$, la solución general es:

$$X(x) = c_1 \operatorname{sen}(\lambda x) + c_2 \operatorname{cos}(\lambda x) \quad (4.1.h)$$

Utilizando $T_4(x, 0) = T_4(x, b) = 0$ se deduce que $Y(0) = Y(b) = 0$ con estas condiciones de frontera para $Y(y)$ tiene soluciones diferentes de cero cuando $c_1 \neq 0$ entonces $\operatorname{sen}(\lambda b) = 0$ de esta ecuación se obtienen los valores para que el seno sea igual a cero esto solo pasa cuando $\lambda b = n\pi$, $\lambda = \frac{n\pi}{b}$ de donde se obtienen los eigenvalores y eigenfunciones.

$$\lambda_n = \frac{n\pi}{b}, Y_n(y) = \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi y}{b}\right), \text{ para } n = 1, 2, \dots \quad (4.1.i)$$

Para la ecuación (4.1.f) la ecuación auxiliar $\alpha^2 - \lambda^2 = 0$ las soluciones son $\alpha = \pm \lambda$ la solución general es:

$$X(x) = c_1 e^{\lambda x} + c_2 e^{-\lambda x} \quad (4.1.j)$$

Para λ_n se tiene la solución para $X_n(x)$ como

$$X_n(x) = c_1 e^{\lambda x} + c_2 e^{-\lambda x} = c_1 e^{\frac{n\pi}{b}x} + c_2 e^{-\frac{n\pi}{b}x} \quad (4.1.k)$$

evaluando $X(0)$ se obtiene

$$X_n(0) = c_1 e^{0} + c_2 e^{-0} = c_1 e^{\frac{n\pi \cdot 0}{b}} + c_2 e^{-\frac{n\pi \cdot 0}{b}} = c_1 + c_2 = 0 \quad (4.1.m)$$

De donde

$$c_1 = -c_2 \quad (4.1.n)$$

Ahora aplicando la condición $T_2(0, b) = 0$ se tiene que $Y(b) = 0$ de estas nos interesan las $Y_n(y)$ que cumplan, donde c_1, c_2 son constantes arbitrarias. se proponer otro valor constante

que es $e^{\frac{n\pi a}{b}}$, esto sin pedida de generalidad ya que son constante, el producto de una constante por otra constante es contante se toma a c_1 como:

$$c_1 = -c_2 e^{\frac{n\pi a}{b}} \quad (4.1.o)$$

Donde

$$c_1 = c_2 e^{\frac{n\pi a}{b}} \quad (4.1.p)$$

Utilizando este término nos llevara a una función hiperbólica donde se involucra la $x=a$ y $y=b$ las cuales son las dimensiones de la placa.

Sustituyendo la ecuación (4.1.o) y la ecuación (4.1.p) en la ecuación (4.1.k)

$$X_n(x) = \left(-c_2 e^{\frac{n\pi a}{b}} e^{\frac{n\pi x}{b}} - (-) c_2 e^{\frac{n\pi a}{b}} e^{\frac{n\pi x}{b}} \right) \quad (4.1.q)$$

$$X_n(x) = \left(-c_2 e^{\frac{n\pi a}{b}} e^{\frac{n\pi x}{b}} + e^{\frac{n\pi a}{b}} e^{\frac{n\pi x}{b}} \right) = \left(-c_2 e^{\frac{n\pi(x-a)}{b}} + c_2 e^{\frac{n\pi(x-a)}{b}} \right) \quad (4.1.r)$$

De donde de la ecuación (4.1.e)

$$X_n(x) = c_2 \left(e^{\frac{n\pi(x-a)}{b}} - e^{-\frac{n\pi(x-a)}{b}} \right) \quad (4.1.s)$$

De la identidad del seno hiperbólico $\operatorname{senh}(x) = \frac{1}{2}(e^x - e^{-x})$, el medio es integrado a la constante.

$$X_n(x) = c_n \operatorname{senh}\left(\frac{n\pi(x-a)}{b}\right) \quad (4.1.t)$$

La solución



$$T_2(x, y) = \sum_{n=1}^{\infty} c_n \sinh\left(\frac{n\pi(x-a)}{b}\right) \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi y}{b}\right) \quad (4.1.u)$$

Para satisfacer la condición de frontera no homogénea de la ecuación (2.1.c)

$$T_2(b, y) = \sum_{n=1}^{\infty} c_n \sinh\left(\frac{n\pi(b-a)}{b}\right) \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi y}{b}\right) = f_4(x) \quad (4.1.v)$$

Se puede también utilizar $b = W$, donde $c_n \sinh\left(\frac{n\pi(a-b)}{b}\right)$ son

los coeficientes de la serie de Fourier, de la función senos $f_4(x)$ para esto se desarrolla este alrededor de $x = 0$, donde

$$c_n \sinh\left(\frac{n\pi(a-b)}{b}\right) = \frac{2}{W} \int_0^W f_1(y') \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi y'}{W}\right) dy' \quad (4.1.w)$$

despejando a c_n , para $c_n = 1, 2, \dots$ dada por la ecuación (4.1.w)

$$c_n = \frac{2}{W \sinh\left(\frac{n\pi(a-b)}{b}\right)} \int_0^W f_4(x') \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi x'}{W}\right) dx' \quad (4.1.x)$$

Sustituyendo ecuación (4.1.x) en la ecuación (4.1.v) la solución de este caso 4. Tomando $W=b$, Viene dado por.

$$T_2(x, y) = \frac{2}{w \sinh\left(\frac{n\pi(b-a)}{b}\right)} \sum_{n=1}^{\infty} \sinh\left(\frac{n\pi(a-y)}{b}\right) \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi x}{b}\right) \int_0^W f_2(x') \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi x'}{W}\right) dy' \quad (4.1.y)$$

La solución general de la ecuación (2) donde se utilizó el principio de superposición la cual se descompuso en cuatro problemas viene dada por la ecuación (5):

$$T(x, y) = \frac{2}{W} \sum_{n=1}^{\infty} \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi x}{W}\right) \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi y}{W}\right) \int_0^W f_1(y') \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi y'}{W}\right) dy' + \frac{2}{W} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sinh\left(\frac{n\pi x}{W}\right) \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi y}{W}\right)}{\sinh\left(\frac{n\pi L}{W}\right)} \int_0^W f_2(y) \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi y'}{W}\right) dy' + \sum_{n=1}^{\infty} \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi x}{L}\right) \operatorname{senh}\left(\frac{n\pi y}{L}\right) \left[\int_0^L f_4(x') \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi x'}{L}\right) dx' \right] + \frac{2}{L} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\operatorname{sen}\left(\frac{n\pi x}{L}\right) \operatorname{senh}\left(\frac{n\pi y}{L}\right)}{\operatorname{senh}\left(\frac{n\pi W}{L}\right)} \left[\int_0^L f_4(x') \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi x'}{L}\right) dx' \right]$$

CONCLUSIONES

Una de las formas sencilla pero procedimiento laboriosa de cálculo para este tipo de problemas, es el método separación de variables de Fourier, se puede utilizar la transformada de Laplace, pero este tiene un problema que cuando ya se tiene despejada la función transformada, se debe encontrar la función inversa de esta, por lo general hay dificultades ya que se requiere una buena habilidad en el cálculo transformada inversa, esta puede ser complicada para encontrarla, otra alternativa sería las técnicas numéricas por ejemplo diferencias finita, elemento finito o elemento frontera. Pero estas soluciones obtenidas por estos métodos solo dan solución en unos puntos llamados nodos, y los anteriores son soluciones analíticas que sirven para obtener la solución en cualquier parte del modelo.

El resultado de este procedimiento se utilizará para realizar la validación de los métodos numéricos mencionados. Otro problema a resolver es cuando una de las caras de la frontera tiene condiciones de Neumann, esta condición es la derivada normal que no es otra cosa que la derivada direccional en la dirección normal a la superficie de la frontera correspondiente.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- [1]. Bejan, A. (1993). Heat Transfer. John Wiley and Sons (WIE).
- [2]. Coleman, M. P. (2005). Anintroduction to partial Differential Equations with Matlab, Editorial Chapman & Hall-CRC. 77–124.
- [3]. Holman, J. P. (1990). Heat Transfer Seventh Edition. McGraw-Hill Inc.
- [4]. Ozisik, M. N. (2013). Boundary value problems of heat conduction. Dover Publications.
- [5]. R. Kent Nagle, Edward B. Saff, Arthur David Snider. (2010). Ecuaciones diferenciales con Valores en la Frontera, Quinta Edición (Vol. 145). Editorial Pearson.
- [6]. UTN. (s/f). Facultad Regional Resistencia - UTN. Edu.ar. Recuperado el 18 de julio de 2023, de <http://www.fre.utn.edu.ar/IJCyT/clean/files/get/item/2178>
- [7]. Zill, D. G. (2005). Ecuaciones Diferenciales con Valores en la Frontera, octava edición, Grupo Editorial Cenge, Learning. 122.
- [8]. Zill, D. G., & Shanalien, P. D. (2011). Introduccion al Analisis complejo con aplicaciones, segunda edición. Editorial Cenge, Learning, 352–389.

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Esiquio Martín Gutiérrez Armenta: Ingeniero Mecánico egresado de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Azcapotzalco del Instituto Politécnico Nacional. Grado de Maestro y Doctor en Ciencias en Ingeniería Mecánica en la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Zacatenco. emga@azc.uam.mx.

Marco Antonio Gutiérrez Villegas: Licenciatura y Maestría 100% créditos en Matemáticas en la Escuela Superior de Física y Matemáticas del Instituto Politécnico Nacional. grado de Maestro en Ciencias y Doctorado en Ingeniería Mecánica en el Instituto



Politécnico Nacional de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Sección de Estudios de Posgrado e Investigación Unidad Zacatenco. magv@correo.azc.uam.mx

Alfonso Jorge Quevedo Martínez: Ingeniero Industrial egresado de la Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Azcapotzalco. Cuenta con una maestría en Gestión Educativa y otra en Docencia, ambas por la Universidad ETAC campus Coacalco. ajqm@azc.uam.mx

Israel Isaac Gutiérrez Villegas: Grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería en Sistemas en la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Zacatenco. iiqv@hotmail.com

José Alejandro Reyes Ortiz: Doctorado en Ciencias de la Computación por el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET), Maestría en Ciencias de la Computación por el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET), Ingeniero en Sistemas Computacionales por el Instituto Tecnológico de Colima. jaro@azc.uam.mx.

Josué Figueroa González: Licenciatura en Ingeniería Electrónica en la Universidad Autónoma Metropolitana, Maestría en Ciencias de la Computación en la Universidad Autónoma Metropolitana. jfgo@azc.uam.mx.

María de Lourdes Sánchez Guerrero: Licenciatura En Computación UAM-Azcapotzalco; Maestría En Ciencias De La Computación UAM-Azcapotzalco. lsg@azc.uam.mx.

Javier Norberto Gutiérrez Villegas: Grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería en Sistemas en la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Zacatenco. jgutierrez@tese.edu.mx.





Riemann Georg Friedrich Bernhard su aportación importante al cálculo Integración y al análisis numérico

Esiquio Martin Gutierrez Armenta**, Marco Antonio Gutiérrez Villegas*, Alfonso Jorge Quevedo Martínez **, Israel Isaac Gutiérrez Villegas *** y *, José Alejandro Reyes Ortiz*, María de Lourdes Sánchez Guerrero*, Josué Figueroa González* y Javier Norberto Gutiérrez Villegas******

RESUMEN

En este artículo tiene la finalidad de mencionar la gran aportación del matemático Riemann Georg Friedrich Bernhard, que dio el paso para encontrar el área bajo la curva, a la que, en nuestros días, se le llama integración, que se incluye en la rama de las matemáticas del cálculo integral, también se desprende de esta teoría el teorema fundamental de cálculo que ayuda encontrar la primitiva que es solución de manera simbólica, en general hay una infinidad de las cuales no se puede encontrar. se utilizará un método numérico para obtener una aproximación del área bajo la curva, con estos métodos se realizan aplicaciones en la cuales si se tiene buenos resultado, pero en otro pasa lo contrario los resultados no son buenos, se calcula la solución analítica para realizar una comparación, el método numérico utilizando es el de la cuadratura de Carl Friedrich Gauss.

ABSTRACT

The purpose of this article is to mention the great contribution of the Riemann mathematician Georg Friedrich Bernhard, who gave way to analytical integration to what is now called integral calculus, and to the fundamental theorem of calculus, to find the solution of a function of analytical way but in general there are an infinity of which this cannot be found, a method that anyone can use will be used, with these methods applications are made in which one does have good results, but in another the opposite happens the results they are not good, the primitive is also calculated to compare them with this one, in this work the numerical method of the quadrature of Carl Friedrich Gauss will be used.

Palabras claves: Riemann, calculus, theorem, Gauss method.

* UAM-Azcapotzalco, Departamento de Sistemas Área, Sistemas Computacionales. emga@azc.uam.mx Doctor, magv@azc.uam.mx Doctor, jaro@azc.uam.mx Doctor, jfgo@azc.uam.mx M. en C., lsg@azc.uam.mx M. en C.

**UAM-Azcapotzalco, Departamento de Administración, Área de Matemáticas y Departamento de Sistemas, Área Sistemas Computacionales. ajqm@azc.uam.mx M. en G. E.

***Tecnológico Nacional de México (TecNM)- Tecnológico de estudios superiores de Ecatepec (TESE)-División de ingeniería en sistemas computación. iigv@hotmail.com M. en C., jgutierrez@tese.edu.mx M. en C.

****IPN-Escuela Superior de Física y Matemáticas – Departamento de Ingeniería y Ciencias Sociales. iigv@hotmail.com M. en C.

INTRODUCCIÓN

Carl Friedrich Gauss realizo en su tiempo la cuadratura de Gauss-Legendre, lo realizo utilizando un cálculo con fracciones continuas en el año 1814. Donde realizo los cálculos nodos y pesos con 16 dígitos, hasta un orden de 7, nodos y pesos. Carl Gustav Jacobi encontró una conexión entre esta cuadratura y el conjunto ortogonal de los polinomios de Adrien Marie Legendre, Hasta el año de 1942 solo se tenían estos valores para utilizarlo

Carl Friedrich Gauss realizo en su tiempo la cuadratura de Gauss-Legendre, lo realizo utilizando un cálculo con fracciones continuas en el año 1814. Donde realizo los cálculos nodos y pesos con 16 dígitos, hasta un orden de 7, nodos y pesos. Carl Gustav Jacobi encontró una conexión entre esta cuadratura y el conjunto ortogonal de los polinomios de Adrien Marie Legendre, Hasta el año de 1942 solo se tenían estos valores para utilizarlo, este término de cuadratura proviene de la utilización matemática de aproximar el área de una manera irregular con pequeños cuadriláteros, la palabra cuadratura es sinónimo de integración numérica, la cuadratura Gaussiana se originó (1777-1855) quien demostró que una función se puede expresar con un polinomio de grado $2n-1$ exactamente, resultados utilizados por Ruohong Li , Honglang Wang, (2020) , para más aportaciones de Gauss se encuentra en Axel D. Wittmann, (2020).

La integral de Riemann Georg Friedrich Bernhard es un concepto importante en cálculo integral que utiliza en ingeniería, en casi todas las ciencias, hasta en las sociales entre otras. Para esto se debe tener una función f continua en un intervalo $[a,b]$, la integral de Riemann (para una integral definida) de f en el intervalo dado puede ser determinado.

Usando el límite de sumas inferior figura 1 y superior figura 2 si estas convergen para cualquier partición del intervalo además estas dan resultados iguales entonces se tiene:

$$\int_a^b f(x) dx = \lim_{n \rightarrow \infty} f(a + i\Delta x) \Delta x \quad (1)$$

parábola figura 1 y 2., se observan las sumas inferior y superior de Riemann Georg Friedrich Bernhard.

Otra representación geométrica de la suma de Riemann para una función positiva se encuentra en Riemann sums for generalized integrals. The College Mathematics Journal. Truc, (2019).



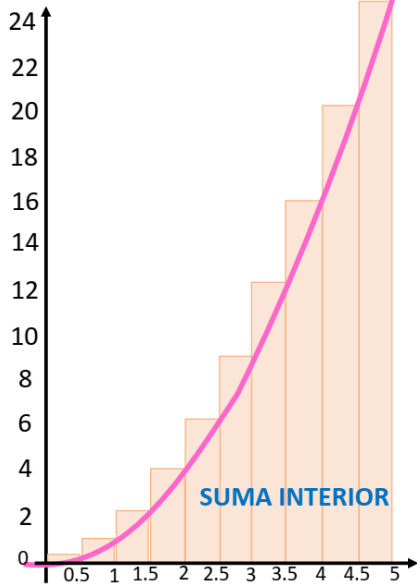


Figura 1.- Muestra las sumas de Riemann con la altura inferior

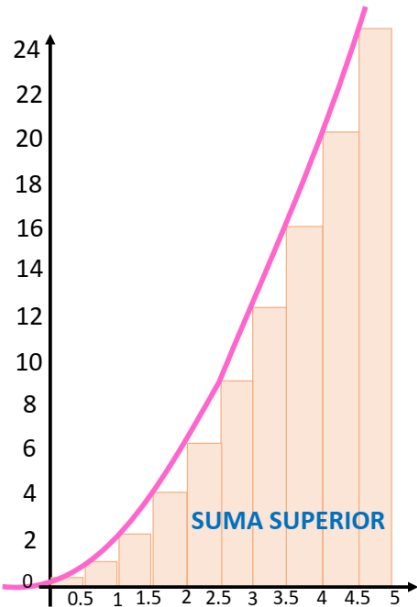


Figura 2.- Muestra Las sumas de Riemann con la altura superior

En el artículo Historical reflections on teaching the fundamental theorem of integral calculus. Bressoud, (2011), hace una reseña histórica del teorema fundamental del cálculo integral desde sus orígenes del siglo XVII hasta la formalización XIX, hasta su aparición en los textos en el siglo XX.

El teorema fundamental del cálculo integral:

Sea f una función continua en el intervalo $[a, b]$ entonces

$$\frac{d}{dx} \int_a^x f(t) dt = f(x) \text{ para } a < x < b \quad (2)$$

y, si $F(x) = \int_a^x f(t) dt$ realizara todo $x \in [a, b]$, entonces

$$\int_a^b f(t) dt = F(b) - F(a) \quad (3)$$

La ecuación 1 se conoce como la primitiva o antiderivada del teorema fundamental del cálculo integral, porque muestra cómo usar la integral definida para construir una antiderivada. La ecuación 3 se conoce como la parte de evaluación del teorema fundamental del cálculo integral, muestra cómo usar la antiderivada para evaluar la integral definida.

En 1815 Carl Friedrich Gauss, publica Methodus nova integralium valores per approximationem inveniendi (Método nuevo de hallar por aproximación los valores de las integrales), en la que introdujo las reglas de cuadratura que hoy llevan su nombre. Para una explicación más amplia del artículo de la cuadratura gaussiana Gauss Sanz-Serna (2019) y (2018). La cuadratura de Gauss proviene del uso de las matemáticas de aproximar de área de una función utilizando pequeños cuadriláteros de forma irregular. En la actualidad hablar de cuadratura es sinónimo de integración, Carl Friedrich Gauss demostró que la integral dada una función polinomio de grado de $2n-1$ se expresa como una suma de n términos., consultar artículo Ruohong Li Para derivar la regla de cuadratura se utiliza un conjunto de funciones ortogonales que forma una base para todo el conjunto de polinomios algebraicos dada por ecuación 1, si las funciones $P_i(x)$ y $P_j(x)$ son ortogonales en $[a, b]$ respecto a la función peso $\omega(x)$ si el producto $P_i(x)P_j(x)\omega(x)$ es integrable en $[a, b]$, cumple, si $P_i(x), P_j(x)$ son polinomios algebraicos cumplen que:

$$\int_a^b P_i(x)P_j(x)\omega(x) dx = \begin{cases} \text{diferente de cero si } i \neq j \\ 0 \text{ si } i = j \end{cases} \quad (4)$$

Gauss-Legendre, y lo hizo mediante un cálculo con fracciones continuas en 1814 el conjunto ortogonal de los polinomios de Legendre dados por la siguiente función de recurrencia, Tenemos que la Cuadratura Gaussiana es una combinación lineal de la función $f(x)$ evaluada en las raíces de la n -ésima Legendre del polinomio dado por la ecuación (2).

$$\left\{ P_{n+1}(x) = \frac{1}{2^{n+1}(n+1)!} \frac{d^{n+1}}{dx^{n+1}} (x^2 - 1)^{n+1} \right\} \quad (5)$$

La Figura 3. representa los polinomios de Legendre dados por la ecuación (5).

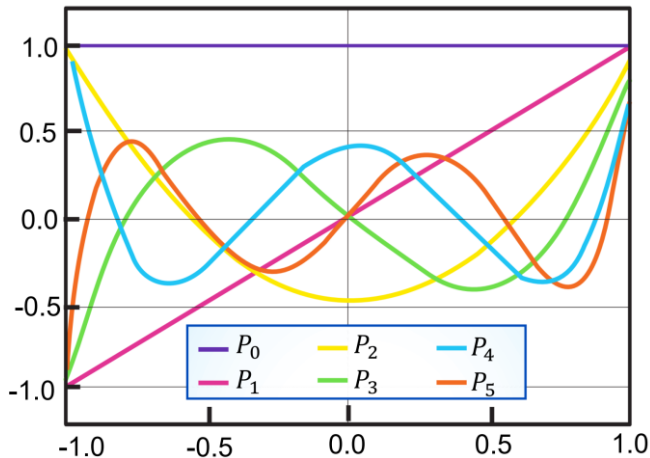


Figura 3.- Se observan las funciones para $n = 5$ de los polinomios de Legendre

estas están definidas en el intervalo $[-1,1]$ Para el cálculo de los nodos y pesos, se integran los polinomios en este intervalo. Carl Gustav Jacob descubrió una conexión entre la regla de cuadratura y la familia ortogonal de polinomios de Legendre Ecuación 5. Como no existe una fórmula de forma cerrada para los pesos y nodos de cuadratura, durante muchas décadas las personas solo pudieron usarlos a mano para n pequeños, para utilizarlo se hacían referencia haciendo a una tabla que contenían el peso y los valores de los nodos. En 1942, estos valores solo se conocían hasta $n = 16$ más. Los usos más constantes de las computadoras han tenido un progreso para los algoritmos utilizados para problemas que no se han podido resolver analíticamente, cuadratura de Gauss viene dada por la ecuación (6).

$$G_n(f) = \sum_{i=1}^n w_i^{(n)} f(x_i^{(n)}) \approx \int_{-1}^1 f(x) dx \quad (6)$$

El error de truncamiento para el método de integración numérica de Gauss se puede encontrar en su trabajo de Iqbal, (2016) para dos nodos viene dado por:

$$E_2(f) = \frac{f^4(c)}{135}, c \in [-1,1] \quad (7)$$

Esta es solo para el cálculo de un área con dos pesos y dos nodos. Realizando un cambio de variable del intervalo $[-1,1]$ $[a,b]$ dada por la ecuación (8):

$$x = \frac{b-a}{2}t + \frac{b+a}{2} \quad (8)$$

Así que la integral de la ecuación (6) se convierte en:

$$I = b \int_a^b f(x) dx = \int_{-1}^1 \left(\frac{b-a}{2}t + \frac{b+a}{2} \right) \frac{b-a}{2} dt \quad (9)$$

El área aproximada de la ecuación (9) viene dada por la ecuación (10):

$$A_1 = \sum_{i=1}^n f\left(\frac{(b-a)x_i + (b+a)}{2}\right) w_i \quad (10)$$

Donde n es el número de puntos que se utilizarán w_i , n los pesos, x_i son los nodos que son calculados de los polinomios respectivos

Al utilizar el cambio de variable afecta por $\frac{b-a}{2}$ error en este caso por.

$$I(j) - G_n(f) = \frac{(b-a)^{2n+1} (n!)^4}{(2n+1)[(2n)!]} f^{(2n)}(\eta_c) \quad (11)$$

El error de truncamiento aproximado se puede escribir de la siguiente manera.

$$E = \frac{(b-a)^{2n+1} (n!)^4 f^{(2n)}(\xi_n)}{(2n+1)[(2n)!]^3} \quad a < \xi_n < b \quad (12)$$

Tabla 1.- Muestra los pesos y nodos utilizados en la integración de Gauss.

Número	Nodo	Peso
1	-0.577350269	1
2	0.577350269	1
Número	Nodos	Pesos
1	-0.774596669	0.555555556
2	0	0.888888889
3	0.774596669	0.555555556
Número	Nodos	Peso
1	-0.861136312	0.347854845
2	-0.339981044	0.652145155
3	0.339981044	0.652145155
4	0.861136312	0.347854845
Número	Nodo	Peso
1	-0.906179846	0.236926885
2	-0.53846931	0.47862867
3	0	0.568888889
4	0.53846931	0.47862867
5	0.906179846	0.236926885
Número	Nodo	Peso
1	-0.960289856	0.101228536
2	-0.796666477	0.222381034
3	-0.52553241	0.313706646



4	-0.183434642	0.362683783
5	0.183434642	0.362683783
6	0.52553241	0.13706646
7	0.796666477	0.222381034
8	0.960289856	0.101228536
Número	Nodo	Peso
1	-0.989400935	0.027152459
2	-0.944575023	0.062253524
3	-0.865631202	0.095158512
4	-0.755404408	0.124628971
5	-0.617876244	0.149595989
6	-0.458016778	0.169156519
7	-0.281603551	0.182603415
8	-0.09501251	0.18945061
9	0.09501251	0.18945061
10	0.281603551	0.182603415
11	0.458016778	0.169156519
12	0.617876244	0.149595989
13	0.755404408	0.124628971
14	0.865631202	0.095158512
15	0.944575023	0.062253524
16	0.989400935	0.027152459

En la Tabla 1.- se muestran Nodos y pesos para 2,3,4,5,8,16. Se realizan las siguientes aplicaciones utilizando integración analítica para obtener la solución verdadera y de esta manera compararla con el método de Gauss con dos nodos y dos pesos, hasta 16 nodos y cinco pesos.

- $\int_0^{\pi} \text{seno}(x) dx = 2$ se Muestran dos nodo y dos pesos en la figura 4.
- $\int_0^{\pi} \text{seno}(20x) dx = -0.1$
- $\int_0^1 x^{10000} dx = \frac{1}{10001} = 9.99900009999000099990000999900001e-5$



Figura 4.- se observan los valores de dos nodos y dos pesos.

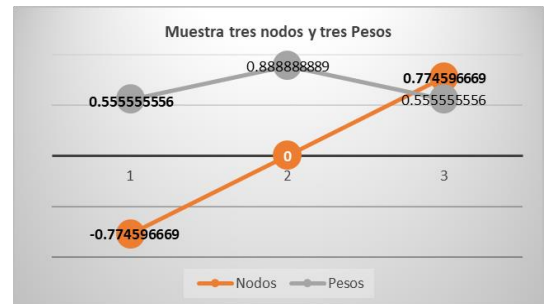


Figura 5.- Se observan los valores de tres nodos y tres pesos

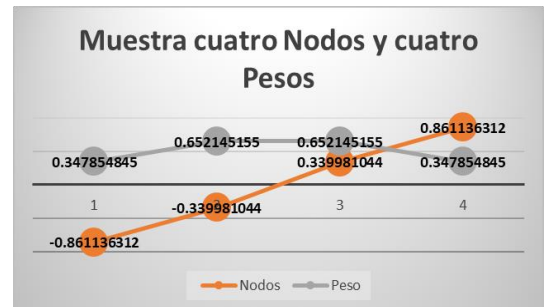


Figura 6. Se observan los valores de cuatro nodos y cuatro pesos



Figura 7.- Se observan los valores de cinco nodos y cinco pesos

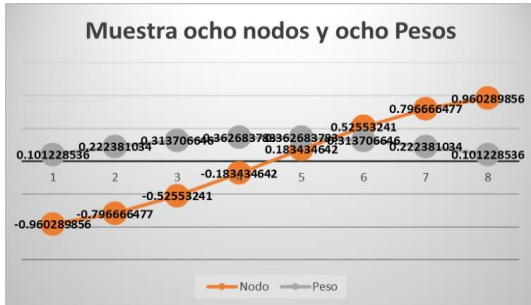


Figura 8.- Se observan los valores de ocho nodos y ocho pesos



Figura 9. Se observan los valores de dieciséis nodos y dieciséis pesos

APLICACIÓN 1

La Figura 10. Se muestra el área bajo la curva a integrar

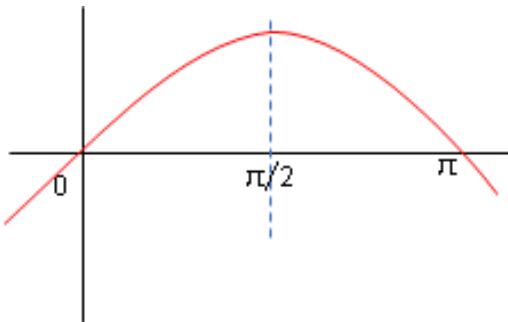


Figura 10.- representa el área bajo la curva en el intervalo de $[0, \pi]$

Muestra los resultados de la aplicación 1, el área obtenida utilizando 2, 3, 4, 58,16 nodo y el mismo número de peso número de pesos.

Tabla 2.- Muestra el área en el intervalo $[0, \pi]$.

Número de nodos	Área aproximada	solución analítica	Error porcentual
Área con dos nodos	1.93582	2	3.209
Área tres nodos	2.364464	2	18.2232
Área cuatro nodos	1.999984	2	0.0008
Área cinco nodos	1.7482482	2	12.58759
Área ocho nodos	2	2	0
Área dieciséis nodos	2	2	0

La tabla 2 Muestra el área en el intervalo $[0, \pi]$. Área de $f(x) = \text{seno}(x)$ en el intervalo $[0, \pi]$.

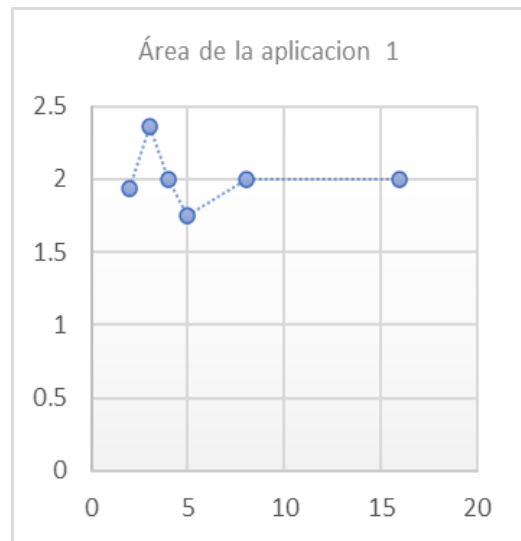


Figura 11.- Muestra el área obtenida utilizando 2, 3, 4, 5,8,16 nodos y pesos

APLICACIÓN 2

El área de la función $f(x) = \text{seno}(20x)$ en el intervalo $[0, \pi]$.

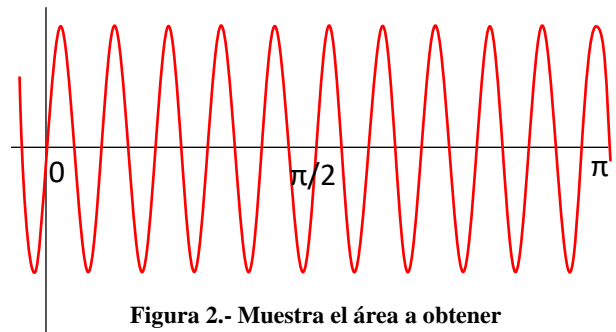


Figura 2.- Muestra el área a obtener



Tabla 3.- datos obtenidos para la aplicación dos en el programa.

Nodos	Área	Solución analítica	Error porcentual
2	0	-0.1	100
3	0.000003	-0.1	99.997
4	-0.000001	-0.1	99.999
5	0.355025	-0.1	455.025
8	-0.000002	-0.1	99.998
16	-0.000001	-0.1	999.99

La tabla 3. Muestra el área obtenida utilizando 2, 3, 4, 5,8,16 nodo, y pesos. Muestra los datos de las áreas de la aplicación 2 con 2,3,4,5,8,16 nodos y pesos.

Tabla 4.- Muestra los datos de las áreas con 2,3,4,5,8,16 nodos y pesos en el intervalo $[0, \pi]$.

NÚMERO DE NODOS	ÁREA APROXIMADA	SOLUCIÓN ANALÍTICA	ERROR PORCENTUAL
Área con dos nodos	0	9.9990000999900009999000099990001e-5	100
Área tres nodos	0.000003	9.9990000999900009999000099990001e-5	96.9997
Área cuatro nodos	-0.000001	9.9990000999900009999000099990001e-5	100.10001
Área cinco nodos	0.355025	9.9990000999900009999000099990001e-5	35.4925
Área ocho nodos	-0.000002	9.9990000999900009999000099990001e-5	102.0002
Área dieciséis nodos	-0.000001	9.9990000999900009999000099990001e-5	101.0001

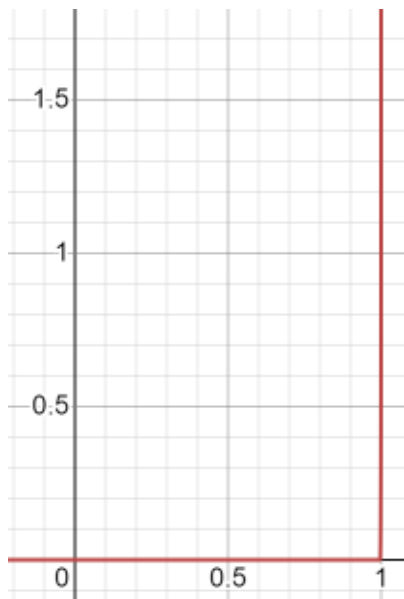


Figura 13.- Muestra el área de la aplicación 3 de la función

Muestra los datos de la aplicación 3 de las áreas con 2,3,4,5,8,16 nodos y pesos.

Tabla 5. Muestra los datos de las áreas con 2,3,4,5,8,16 nodos y pesos en el intervalo $[0, \pi]$.

Número de nodos	Área aproximada	Solución analítica	Error porcentual
Área con dos nodos	0	0	indefinido
Área tres nodos	0.000003	0	indefinido
Área cuatro nodos	-0.000001	0	indefinido
Área cinco nodos	0.355025	0	indefinido
Área ocho nodos	-0.000002	0	indefinido
Área dieciséis nodos	-0.000001	0	indefinido

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Utilizando los métodos analíticos para resolver integrales puede ser a veces muy complejas o tediosas para obtener esta solución, en este artículo se utilizaron funciones que se pueden encontrar con un formulario, se utilizaron tres métodos numéricos a tres aplicaciones, en la aplicación se ve se va acercando con más nodos y abscisas al área de la solución real, según su porcentaje y comparado con la solución. Se observa que mientras aumenta de nodos y pesos se acerca más a la analítica, en la segunda el programa no distingue que hay áreas negativas así que no sabe que hacer dando valores no deseables, por último, en la aplicación tres no se encontrara una buena aproximación debido que la potencia es muy grande el valor de los pesos y nodos tienden a cero.

CONCLUSIONES

Hay en alguna literatura que han encontrado hasta, cien valores de estos, pero para la aplicación 2 y 3 esto no funciona, se tendría el mismo problema, así que para aplicar esta técnica de integración numérica hay que tener con cuidado con funciones trigonométricas que tengan un gran periodo, así como combinaciones de estas con potencias elevadas a un número muy grande. De esta forma se da una idea que también no es tan fácil utilizar este método.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- [1]. Bressoud, D. M. (2011). Historical reflections on teaching the fundamental theorem of integral calculus. The American mathematical monthly: the official journal of the Mathematical Association of America, 118(2), 99. <https://doi.org/10.4169/amer.math.monthly.118.02.099>
- [2]. Iqbal, R., & Ahmad, M. O. (2016). Error Estimation of Numerical Integration Methods, Mathematical Theory and Modeling www.iiste.org (Vol. 6). Paper.
- [3]. Sanz-Serna, J. M. (2018). La cuadratura gaussiana según Gauss. Departamento de Matemáticas, Universidad Carlos III de Madrid, Avenida de la Universidad 30, E-28911 Leganés (Madrid), 00(00), 10001–10006.
- [4]. Sanz-Serna, J. M. (2019). La cuadratura gaussiana según Gauss. 22, 101–116.
- [5]. Truc, J.-P. (2019). Riemann sums for generalized integrals. The College Mathematics Journal, 50(2), 123–132. <https://doi.org/10.1080/07468342.2019.1560119>



- [6]. Wang, R. L. H., & Tu, W. (Eds.). (2020). Gaussian Quadrature, See discussions, stats, and author profiles for this publication a.
- [7]. Wittmann, A. D. (2020). Carl Friedrich Gauss and the Gauss Society: a brief overview. *History of Geo- and Space Sciences*, 11(2), 199–205. <https://doi.org/10.5194/hgss-11-199-2020>

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Esiquio Martín Gutiérrez Armenta: Ingeniero Mecánico egresado de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Azcapotzalco del Instituto Politécnico Nacional. Grado de Maestro y Doctor en Ciencias en Ingeniería Mecánica en la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Zacatenco. emga@azc.uam.mx.

Marco Antonio Gutiérrez Villegas: Licenciatura y Maestría 100% créditos en Matemáticas en la Escuela Superior de Física y Matemáticas del Instituto Politécnico Nacional. grado de Maestro en Ciencias y Doctorado en Ingeniería Mecánica en el Instituto Politécnico Nacional de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Sección de Estudios de Posgrado e Investigación Unidad Zacatenco. magv@correo.azc.uam.mx

Alfonso Jorge Quevedo Martínez: Ingeniero Industrial egresado de la Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Azcapotzalco. Cuenta con una maestría en Gestión Educativa y otra en Docencia, ambas por la Universidad ETAC campus Coacalco. ajqm@azc.uam.mx

Israel Isaac Gutiérrez Villegas: Grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería en Sistemas en la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Zacatenco. ijgv@hotmail.com

José Alejandro Reyes Ortiz: Doctorado en Ciencias de la Computación por el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET), Maestría en Ciencias de la Computación por el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET), Ingeniero en Sistemas Computacionales por el Instituto Tecnológico de Colima. jaro@azc.uam.mx.

Josué Figueroa González: Licenciatura en Ingeniería Electrónica en la Universidad Autónoma Metropolitana, Maestría en Ciencias de la Computación en la Universidad Autónoma Metropolitana. jfgo@azc.uam.mx.

María de Lourdes Sánchez Guerrero: Licenciatura En Computación UAM-Azcapotzalco; Maestría En Ciencias De La Computación UAM-Azcapotzalco. lsg@azc.uam.mx.

Javier Norberto Gutiérrez Villegas: Grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería en Sistemas en la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Zacatenco.





Ecuación de Laplace en conducción de calor con tres de ellas homogéneas una condición es del tipo de enfriamiento de Newton

*Esiquio Martin Gutierrez Armenta**, *Marco Antonio Gutiérrez Villegas**, *Alfonso Jorge Quevedo Martínez ***, *Israel Isaac Gutiérrez Villegas ****, *José Alejandro Reyes Ortiz**, *María de Lourdes Sánchez Guerrero**, *Josué Figueroa González** y *Javier Norberto Gutiérrez Villegas*****

RESUMEN

En este artículo tiene la finalidad de mencionar la gran aportación del matemático Riemann Georg Friedrich Bernhard, que dio el paso a la integración analítica a lo que hoy se llama cálculo integral, y al teorema fundamental de cálculo, para encontrar la solución de una función de manera analítica pero en general hay una infinidad de las cuales no se puede encontrar esta, se utilizara un método que cualquiera puede utilizar, con estos métodos se realizan aplicaciones en la cual una si se tiene buenos resultado, pero en otra pasa lo contrario los resultados no son buenos, también se calcula la primitiva para compararlos con esta, en este trabajo se utilizara el método numérico de la cuadratura de Carl Friedrich Gauss.

ABSTRACT

This article article an analytical development of the heat equation is carried out in a square that can be extended to a rectangle by varying its dimensions with boundary conditions on three of its non-trivial faces, and one of them isolated. Due to the tedious mathematical development, as well as its algebraic difficulties and the development to find the coefficients of Jean-Baptiste Joseph Fourier, analytical solutions for this type of cases are generally not found in the literature.

Palabras claves: Analytical, Dimensions, Algebraic, Fourier.

INTRODUCCIÓN

La técnica sobre las series de Taylor de Winslow Taylor a principios del siglo XVII, se consideraron estas series infinitas, para el desarrollo del seno, coseno, tangente, logaritmo natural

$\ln(1+x)$, que fueron obtenidas por técnicas geométricas por Leibniz, para más detalles consultarse el artículo de Frédéric Barbaresco and Jean-Pierre Gazeau (2019)., en análisis armónico conmutativo lo aborda Rahim Kouki, Barry J. Griffiths, (2020), de utilizando curvas sinusoidales para describir la temperatura, este fue pasando como una idea matemática que dada Cualquier función se podría descomponerse en una combinación lineal de funciones seno. Esta se aplica en resolver ecuaciones diferenciales parciales que se originaron a partir de la física y matemáticas, en espacios Euclidianos, Hanwen Guan, Haoyi Song, Yang and Jiayuan Zhang, (2021), una demostración rigurosa del teorema de sobre superposición no lineal, se construirle a partir del álgebra de Lie en espacios vectoriales. Este es argumento más convincente que apoya el uso de esta definición alternativa de la regla de superposición, se muestra que esta definición permite una generalización inmediata del Teorema de Lie para el caso de sistemas de ecuaciones diferenciales parciales, Josué F. Cariñena, (2006). El método de separación de variables y el principio de superposición para resolver el problema de conducción de calor en estado estable para un rectángulo finito con las siguientes dimensiones $0 \leq x \leq a$ y $0 \leq y \leq b$. Las condiciones de frontera conocidas de primer tipo utilizadas por Peter Gustav Lejeune Dirichlet que resolvió el problemas de potencial en una región cerrada con condiciones de frontera, para asegurar la existencia y unicidad de la solución, la ecuación de Laplace cumple con esta condición, a este se le conoce como problema de Peter Gustav Lejeune Dirichlet, al cual se tenía que encontrar una función armónico con la condición de contorno derivada normal

$\frac{d\phi}{dn} = g(x)$ frontera donde n es la normal exterior a la

superficie de la frontera. se llama condición de frontera del segundo tipo, de Carl Gottfried Neumann (1832-1925), Alexander H.-D. Chenga, Daisy T. Cheng. (2005), También en su artículo Pushpendra Singh, Amit Singhal, Binish Fatimah, Anubha Gupta and Shiv Dutt Josh.(2021).realizan una demostración completa cuando se obtiene una única solución y no tiene.

Las condiciones de frontera del Tipo Dirichlet, con temperaturas fijas, o indeterminadas para paredes aisladas (o también llamadas paredes adiabáticas).

En este trabajo se mantienen tres lados del rectángulo (cuadrado) tipo Dirichlet $T|_{\Gamma_{1,2,3}}$ temperaturas constantes las cuales son

funciones de su posición a lo largo de la cara donde se encuentra

* UAM-Azcapotzalco, Departamento de Sistemas Área, Sistemas Computacionales. emga@azc.uam.mx Doctor, magv@azc.uam.mx Doctor, jaro@azc.uam.mx Doctor, jfgo@azc.uam.mx M. en C., lsg@azc.uam.mx M. en C.

**UAM-Azcapotzalco, Departamento de Administración, Área de Matemáticas y Departamento de Sistemas, Área Sistemas Computacionales. ajqm@azc.uam.mx M. en G. E.

***Tecnológico Nacional de México (TecNM)- Tecnológico de estudios superiores de Ecatepec (TESE)-División de ingeniería en sistemas computación. iigv@hotmail.com M. en C., jgutierrez@tese.edu.mx M. en C.

****IPN-Escuela Superior de Física y Matemáticas – Departamento de Ingeniería y Ciencias Sociales. iigv@hotmail.com M. en C.





esta. En una de sus caras se utiliza la condición de tipo Carl Gottfried Neumann $\frac{\partial T}{\partial y} = (T_s - T_\infty)|_{\Gamma_4}$.

METODOLOGÍA Y DESARROLLO

Se hará uso del teorema del principio de superposición para descomponer el problema en cuatro para este caso se usará la figura 1. Donde se muestra este principio para facilitar el desarrollo, con esta se obtendrán cuatro problemas en los cuales se utilizará el método de variables separable para cada uno de estos (método de Fourier). Planteamiento del problema, sea la ecuación de Laplace en dos dimensiones dada por la ecuación 1.

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0$$

$$0 \leq x \leq a = L \quad 0 \leq y \leq b = W \quad (1)$$

Con las condiciones de frontera.

$$T = f_1(y) \quad x = 0 \quad (1.a)$$

$$T = f_2(y) \quad y = a = L \quad (1.b)$$

$$T = f_3(x) \quad y = 0 \quad (1.c)$$

$$T = f_4(x) \quad y = b = W \quad (1.d)$$

Donde Utilizando superposición se separa la ecuación 1, con sus condiciones de frontera (1 a, b, c, d) en cuatro problemas simples, que la solución general es de la forma:

$$T(x, y) = T_1(x, y) + T_2(x, y) + T_3(x, y) + T_4(x, y) \quad (2)$$

La figura 1 muestra al sistema de la ecuación 1 con sus condiciones de frontera (1 a, b, c, d), en cuatro problemas simples. Estos se resolverán por el método de separación de variables (Fourier).

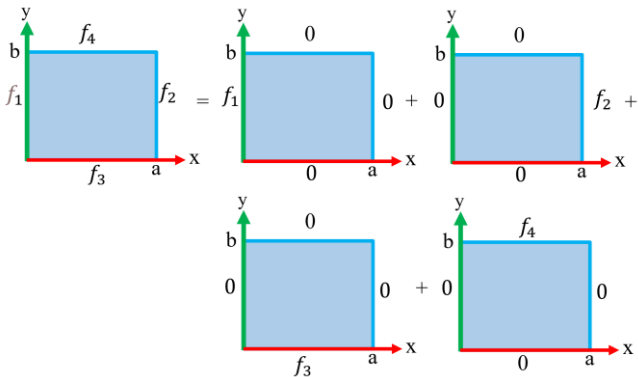


Figura 1. Muestra como un problema de Laplace

En un cuadrado se descompone en cuatro problemas más simples utilizando el principio de superposición basándose en la formulación descrita en Jambrina, L (2023).

Aplicando este principio se expresan en cuatro figuras las cuales tienen su expresión matemática con sus condiciones de frontera. Se resolverán cuatro casos.

Caso 1

Donde la función $T_1(x, y)$ se representa como

$$\frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_1}{\partial y^2} = 0$$

$$0 \leq x \leq a = L \quad 0 \leq y \leq b = W \quad (1.1)$$

Utilizando las condiciones de frontera son 1a, 1b, 1c y 1d. Las ecuaciones diferenciales de segundo orden asociadas al sistema.

$$T_1 = f_1(y) \quad y = 0 \quad (1.1 a)$$

$$T_1 = 0 \quad x = a = L \quad (1.1 b)$$

$$T_1 = 0 \quad y = 0 \quad (1.1 c)$$

$$T_1 = 0 \quad y = b = W \quad (1.1 d)$$

Caso 2

Donde la función $T_2(x, y)$ se representa como

$$\frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_2}{\partial y^2} = 0$$

$$0 \leq x \leq a = L \quad 0 \leq y \leq b = W \quad (2.1)$$

Utilizando las condiciones de frontera son 1a, 1b, 1c y 1d. Las ecuaciones diferenciales de segundo orden asociadas al sistema.

$$T_2 = 0 \quad x = a = L \quad x = 0 \quad (2.1 a)$$

$$T = f_2(y) = \frac{\partial T_2}{\partial y} \Big|_{\Gamma_2} = (T_s - T_\infty) \quad x = a = L = w \quad (2.1 b)$$

Donde T_s la temperatura de la superficie del cuero ya no tiene influencia sobre el material. T_∞ es la temperatura del medio ambiente.

$$T_2 = 0 \quad y = 0 \quad (2.1.c)$$

$$T_2 = 0 \quad y = b = W \quad (2.1.d)$$

Caso 3.

Para $T_3(x, y)$ como:

$$\frac{\partial^2 T_3}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_3}{\partial y^2} = 0$$

$$0 \leq x \leq a = L \quad 0 \leq y \leq b = W \quad (3.1)$$

Las Condiciones de frontera:

$$T_3 = 0 \quad x = 0 \quad (3.1.a)$$

$$T_3 = 0 \quad x = a = L \quad (3.1.b)$$



$$T_3 = f_3(x) \quad y = 0 \quad (3.1.c)$$

$$T_3 = 0 \quad y = b = W \quad (3.1.d)$$

Caso 4

Resolviendo el caso 4.

$$\frac{\partial^2 T_4}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_4}{\partial y^2} = 0 \quad (4.1)$$

$$0 \leq x \leq a = L \quad 0 \leq y \leq b = W$$

Las Condiciones de frontera:

$$T_4 = 0 \quad x = 0 \quad (4.1.a)$$

$$T_4 = 0 \quad x = a = L \quad (4.1.b)$$

$$T_4 = 0 \quad y = 0 \quad (4.1.c)$$

$$T_4 = f_4(x) \quad y = b = W \quad (4.1.d)$$

Resolviendo los cuarto casos para estos se propone una solución de la forma:

$$T_4(x, y) = X(x)Y(y) \quad (4.a)$$

Obteniendo las segundas derivadas parciales de la ecuación 4.a con respecto a x, y sustituyendo en la ecuación 4 se obtiene:

$$-\frac{1}{X} \frac{d^2 X(x)}{dx^2} = \frac{1}{Y} \frac{d^2 Y(y)}{dy^2} = \lambda^2, \quad \lambda^2 > 0 \quad (a5)$$

La cuales solo tiene solución para $\lambda^2 > 0$ de la ecuación a5 se obtienen dos ecuaciones diferenciales ordinarias de segundo orden:

$$\frac{d^2 X(x)}{dx^2} + \lambda^2 X = 0 \quad (a6)$$

$$\frac{d^2 Y(y)}{dy^2} - \lambda^2 Y = 0 \quad (a7)$$

Donde sus soluciones dadas por:

$$X = c_1 \cos(\lambda x) + c_2 \sen(\lambda x) \quad (a8)$$

$$Y = c_3 e^{-\lambda y} + c_4 e^{\lambda y} \quad (9)$$

Sustituyendo las ecuaciones (a8- a9) en la ecuación (4a):

$$T_4(x, y) = (c_1 \cos(\lambda x) + c_2 \sen(\lambda x)) [c_3 e^{-\lambda y} + c_4 e^{\lambda y}] \quad (a10)$$

Aplicando la condición de frontera en la ecuación 4a:

$$T_4(0, y) = [c_1(1) + c_2(0)] [c_3 e^{-\lambda y} + c_4 e^{\lambda y}] = 0 \quad (a11)$$

se tiene:

$$c_1 = 0 \quad (a12)$$

$$T_4(x, y) = c_2 \sen(\lambda x) [c_3 e^{-\lambda y} + c_4 e^{\lambda y}] \quad (a13)$$

$$(a14)$$

de la ecuación (4c):

$$T_4(x, 0) = c_2 \sen(\lambda x) [c_3 e^{-\lambda(0)} + c_4 e^{\lambda(0)}] \quad (a15)$$

$$T_4(x, 0) = c_2 \sen(\lambda x) [c_3 + c_4] = 0 \quad (a16)$$

$$c_3 + c_4 = 0 \quad (a17)$$

Se obtiene la ecuación (a18):

$$c_3 = -c_4 \quad (a18)$$

utilizando la condición de frontera a la ecuación (4b)

$$T_4(L, y) = c_2 c_4 \sen(\lambda L) [e^{\lambda y} - e^{-\lambda y}] = 0 \quad (a19)$$

Todas las constantes deben ser diferente de cero. debido a que la función exponencial es diferente de cero en todo \mathbb{R} , así que se tiene la única posibilidad es que:

$$\sen(\lambda L) = 0 \quad (a20)$$

Esto sólo puede tenerse si de la ecuación (a20) el argumento sea cero esto debe cumplir (a21):

$$\lambda = \frac{n\pi}{L}, \quad \text{para } n = 1, 2, \dots \quad (a21)$$

Por el principio de superposición para las constantes C_n , así utilizando la identidad $2 \senh(\lambda x) = e^{\lambda x} - e^{-\lambda x}$ se tiene:

$$T_4(x, y) = \sum_{n=1}^{\infty} c_n \sen\left(\frac{n\pi x}{L}\right) \senh\left(\frac{n\pi y}{L}\right) \quad (a22)$$

Utilizando la condición de la ecuación (4d):

$$T_4(x, W) = f_4(x) = \sum_{n=1}^{\infty} c_n \sen\left(\frac{n\pi x}{L}\right) \senh\left(\frac{n\pi W}{L}\right) \quad (a23)$$

Usando el principio de ortogonalidad de la serie de Taylor:

$$c_n \senh\left(\frac{n\pi W}{L}\right) = \frac{2}{L} \int_0^L f_4(x) \sen\left(\frac{n\pi x}{L}\right) dx \quad (a24)$$

Despejando a C_n

$$c_n = \frac{2}{L \senh\left(\frac{n\pi W}{L}\right)} \int_0^L f_4(x) \sen\left(\frac{n\pi x}{L}\right) dx \quad (a25)$$

Sustituyendo en la ecuación (a25-a22)

$$T_4(x, y) = \frac{2}{W} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\senh\left(\frac{n\pi y}{L}\right)}{\senh\left(\frac{n\pi W}{L}\right)} \left[\int_0^L f_4(x') \sen\left(\frac{n\pi x'}{L}\right) dx' \right] \quad (a26)$$

La ecuación (a26) es la solución de la ecuación 4 sujeta a las condiciones de frontera dadas por las ecuaciones (4a -4d).

SOLUCIÓN PARA EL CASO 2

$$\frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_2}{\partial y^2} = 0$$

$$0 \leq x \leq a = L \quad 0 \leq y \leq b = W \quad (2)$$



Condiciones de frontera:

$$T_2 = 0 \quad x = 0 \quad (2a)$$

$$T_2 = f_2(y) = \frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{r_2} = (T_s - T_\infty) \quad x = a = L \quad (2b)$$

$$T_2 = 0 \quad y = 0 \quad (2c)$$

$$T_2 = 0 \quad y = b = W \quad (2d)$$

Realizando un proceso análogo al anterior

$$T_2(x, y) = X(x)Y(y) \quad (b5)$$

Calculando las segundas derivadas parciales de la ecuación b5 con respecto a x, y sustituyendo en la ecuación 2 se obtiene:

$$\frac{1}{X(x)} \frac{d^2 X(x)}{dx^2} = \frac{1}{Y(y)} \frac{d^2 Y(y)}{dy^2} = \lambda^2, \lambda > 0 \quad (b6)$$

De la ecuación (b6) se obtienen dos ecuaciones diferenciales ordinarias de segundo orden.

$$\frac{d^2 Y(y)}{dy^2} + \lambda^2 Y(y) = 0 \quad (b7)$$

$$\frac{d^2 X(x)}{dx^2} - \lambda^2 X(x) = 0 \quad (b8)$$

Donde las soluciones para ésta están dadas por:

$$Y(y) = c_1 \cos(\lambda y) + c_2 \text{sen}(\lambda y) \quad (b9)$$

$$X(x) = c_3 e^{\lambda x} + c_4 e^{-\lambda x} \quad (b10)$$

Sustituyendo las ecuaciones (b9-b10) en la ecuación (b5)

$$T_2(x, y) = [c_1 \cos(\lambda y) + c_2 \text{sen}(\lambda y)] [c_3 e^{\lambda x} + c_4 e^{-\lambda x}] \quad (b11)$$

Derivando $\frac{\partial T_2}{\partial y} = -\lambda \cos(\lambda y) + c_2 \lambda \text{sen}(\lambda y)$ aplicando la

condición de frontera de la ecuación (2b) para esto se tiene que derivar parcialmente con respecto a y la ecuación b11:

$$\frac{\partial T_2(x, y)}{\partial y} = [-\lambda c_1 \text{seno}(\lambda y) + \lambda c_2 \cos(\lambda y)] = (T_s - T_\infty) \quad (12b)$$

Utilizando la condición de frontera ecuación (2b) la siguiente teoría se utiliza para $N \in \mathbb{N}, N > 1$ se pueden tomar las siguientes

sumatorias para las series seno y coseno. $\sum_{i=1}^N \cos\left(\frac{2k\pi}{N}\right) = 0,$

$\sum_{i=1}^N \sin\left(\frac{2k\pi}{N}\right)$ para una ampliación sobre el tema ver Michael P.

Knapp Loyola, S. Greitzer, la demostración del teorema la realiza Many cheerful Facts Arbelos 4 (1986), no. 5, 14-17. 2. J. Holdener, Math bite: Sums of Sines and Cosines, this Magazine, 82 (2009), 126 utilizando números complejos.

Las pruebas de estas dos identidades son un buen ejercicio de álgebra compleja: usando el teorema de DeMoivre y la fórmula de

Euler, $e^{i(2\pi)} = \left(e^{i\left(\frac{2\pi}{N}\right)}\right)^N = 1$ se derivan las identidades de la parte real e imaginaria se obtiene la siguiente ecuación

$$\sum_{i=1}^N \left(\cos\left(\frac{2\pi k}{n}\right) + i \sin\left(\frac{2\pi k}{n}\right)\right) = \sum_{k=0}^{N-1} \frac{\left(e^{\frac{2\pi i}{N}}\right)^N - 1}{\left(e^{\frac{2\pi i}{N}}\right)^N - 1} = 0.$$

$$\frac{\partial T_2(0, w)}{\partial y} = [-\lambda c_1 \text{seno}(\lambda w) + \lambda c_2 \cos(\lambda w)] = (T_s - T_\infty) \quad (b13)$$

Como el segundo término de la ecuación (b13) no puede ser cero entonces se debe de tener:

$$\text{seno}(\lambda w) = \cos(\lambda w) \quad (b14)$$

$\cos(\theta) = \cos\left(\frac{\pi}{2} + \theta\right); \sin(\theta) = \sin\left(\theta - \frac{\pi}{2}\right);$ en estos casos al evaluar es cero.

También se puede ser utilizado en este caso.

$$T_2(x, y) = c_4 [c_1 \cos(\lambda y) + c_2 \text{sen}(\lambda y)] \quad (b15)$$

Con la condición de la ecuación (2c):

$$T_2(x, 0) = [c_1 \cos(\lambda(0)) + c_2 \text{sen}(\lambda(0))] = 0 \quad (b16)$$

$$T_2(x, 0) = [c_1(1) + c_2(0)] = 0 \quad (b17)$$

De aquí $c_1 = 0$:

$$T_2(0, y) = c_2 \text{sen}(\lambda y) \quad (b17.1)$$

Aplicando las condiciones de frontera (2d)

$$T_4(x, W) = c_2 \text{sen}(\lambda W) = 0 \quad (b18)$$

Donde las constantes deben ser diferente de cero así que la única posibilidad es que

$$\text{sen}(\lambda W) = 0 \quad (b19)$$

Esto sólo puede tenerse si

$$\lambda = \frac{n\pi}{W}, \text{ para } n = 1, 2, \dots \quad (b20)$$

Utilizando el principio de superposición para las soluciones y sustituyendo la identidad $2\text{senh}(\lambda y) = e^{\lambda y} - e^{-\lambda y}$, las constantes c_n .

$$T_2(x, y) = \sum_{n=1}^{\infty} c_n \text{sen}\left(\frac{n\pi y}{W}\right) \text{senh}\left(\frac{n\pi x}{W}\right) (T_s - T_\infty) \quad (b21)$$

De la condición tomando la ecuación (2b)

$$T_2(L, y) = (T_s - T_\infty) \sum_{n=1}^{\infty} c_n \text{sen}\left(\frac{n\pi y}{L}\right) \text{senh}\left(\frac{n\pi L}{W}\right) \quad (b22)$$



Usando la ortogonalidad

$$c_n \operatorname{senh}\left(\frac{n\pi L}{W}\right) = \frac{2(T_S - T_\infty)}{W} \int_0^W \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi y}{W}\right) dy \quad (b23)$$

Despejando c_n de la ecuación (b23)

$$c_n = \frac{2(T_S - T_\infty)}{W \operatorname{senh}\left(\frac{n\pi L}{W}\right)} \int_0^W \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi y}{W}\right) dy \quad (b24)$$

Sustituyendo la ecuación (b24) en la ecuación (b21)

$$T_2(x, y) = \frac{2}{W} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\operatorname{senh}\left(\frac{n\pi x}{W}\right)}{\operatorname{senh}\left(\frac{n\pi L}{W}\right)} \int_0^W \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi y'}{W}\right) dy' \quad (b25)$$

La ecuación (b25) es la solución de (2) sujeta a las ecuaciones (2a, 2b, 2c, 2d)

SOLUCIÓN PARA EL CASO 1

$$\frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_1}{\partial y^2} = 0$$

$$0 \leq x \leq a = L \quad 0 \leq y \leq b = W \quad 1$$

Condiciones de frontera para el caso 1

$T_1 = f_1(y)$	$x = 0$	(1a)
$T_1 = 0$	$x = a = L$	(1b)
$T_1 = 0$	$y = 0$	(1c)
$T_1 = 0$	$y = b = W$	(1d)

En forma similar se propone una solución de la forma

$$T_1(x, y) = X(x)Y(y) \quad (b5)$$

Derivando parcialmente adecuación (b5) con respecto a x , y y sustituyendo en ecuación (2) se obtiene dos ecuaciones diferenciales ordinarias de segundo orden que son

$$\frac{1}{X} \frac{d^2 X(x)}{dx^2} = -\frac{1}{Y} \frac{d^2 Y(y)}{dy^2} = \lambda^2, \quad \lambda^2 > 0 \quad (b6)$$

De la ecuación (a6) se obtienen dos ecuaciones diferenciales de segundo orden:

$$\frac{d^2 Y(y)}{dy^2} + \lambda^2 Y = 0 \quad (b7)$$

$$\frac{d^2 X(x)}{dx^2} - \lambda^2 X = 0 \quad (b8)$$

Donde las soluciones para ésta están dadas por:

$$Y(y) = c_1 \cos(\lambda y) + c_2 \operatorname{sen}(\lambda y) \quad (b9)$$

$$X(x) = c_3 e^{-\lambda x} + c_4 e^{\lambda x} \quad (b10)$$

Sustituyendo la ecuación (b9) y la ecuación (b10) en la ecuación (b5)

$$T_1(x, y) = [c_1 \cos(\lambda y) + c_2 \operatorname{sen}(\lambda y)] [c_3 e^{-\lambda x} + c_4 e^{\lambda x}] \quad (b11)$$

Aplicando la condición de frontera de la ecuación (3b)

$$T_1(x, 0) = [c_1 \cos(\lambda(0)) + c_2 \operatorname{sen}(\lambda(0))] [c_3 e^{-\lambda x} + c_4 e^{\lambda x}] = 0 \quad (b12)$$

$$T_1(x, 0) = [c_1(1) + c_2(0)] [c_3 e^{-\lambda x} + c_4 e^{\lambda x}] = 0 \quad (b13)$$

$$T_1(x, 0) = [c_1 \cos(0) + c_2 \operatorname{sen}(0)] [c_3 e^{-\lambda x} + c_4 e^{\lambda x}] = 0 \quad (b14)$$

De donde

$$c_1 = 0 \quad (b15)$$

$$T_1(x, y) = c_2 \operatorname{sen}(\lambda y) [c_3 e^{-\lambda x} + c_4 e^{\lambda x}] \quad (b16)$$

Aplicando la condición de frontera (1b)

$$T_1(L, y) = c_2 \operatorname{sen}(\lambda y) [c_3 e^{-\lambda L} + c_4 e^{\lambda L}] = 0 \quad (b17)$$

Para este caso se tiene la siguiente suposición $e^{\lambda L} \rightarrow \operatorname{senh}(\lambda L)$

para $x \gg 0$ (grandes), $e^{-\lambda L} \rightarrow \operatorname{senh}(\lambda L)$ para x pequeños,

entonces la ecuación (b17) se escribe de la siguiente manera

$$\operatorname{senh}(\lambda L) [c_3 + c_4] = 0 \quad \text{como } \operatorname{senh}(\lambda L) \neq 0 \quad \text{entonces}$$

$c_3 + c_4 = 0$ de aquí $c_3 = -c_4$ sustituida en la ecuación (b17)

$$T_1(x, y) = c_2 c_4 \operatorname{sen}(\lambda y) \operatorname{senh}(\lambda x) \quad (b18)$$

Aplicando la condición de frontera de la ecuación (1 d)

$$T_1(x, W) = c_2 c_4 \operatorname{sen}(\lambda W) \operatorname{senh}(\lambda x) = 0 \quad (b19)$$

Donde las constantes deben ser diferente de cero así que la única posibilidad es que

$$\operatorname{sen}(\lambda W) = 0 \quad (b20)$$

Esto sólo puede tenerse si

$$\lambda = \frac{n\pi}{W}, \quad \text{para } n = 1, 2, \dots \quad (b21)$$

Utilizando el principio de superposición para las soluciones y sustituyendo $2 \operatorname{senh}(\lambda y) = e^{\lambda x} - e^{-\lambda x}$ este 2 y las demás

constantes están incluidas en las constantes c_n

$$T_2(x, y) = \sum_{n=1}^{\infty} c_n \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi x}{W}\right) \operatorname{senh}\left(\frac{n\pi y}{W}\right) \quad (b21)$$

Utilizando la condición de la ecuación (2b)

$$T_2(L, y) = f(y) = \sum_{n=1}^{\infty} c_n \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi y}{L}\right) \operatorname{senh}\left(\frac{n\pi L}{W}\right) \quad (b22)$$

Usando la ortogonalidad

$$c_n \operatorname{senh}\left(\frac{n\pi L}{W}\right) = \frac{2}{W} \int_0^W f_2(y) \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi y}{W}\right) dy \quad (b23)$$

Despejando c_n de ecuación (b23)

$$c_n = \frac{2}{W \operatorname{senh}\left(\frac{n\pi L}{W}\right)} \int_0^W f_2(y) \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi y}{W}\right) dy \quad (b24)$$



Sustituyendo ecuación (b24) en la ecuación (b21)

$$T_2(x, y) = \frac{2}{W} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sinh\left(\frac{n\pi x}{W}\right) \sin\left(\frac{n\pi y}{W}\right)}{\sinh\left(\frac{n\pi L}{W}\right)} \int_0^w f_2(y) \sin\left(\frac{n\pi y'}{W}\right) dy' \quad (b25)$$

La ecuación resultante (b25) es la solución de la ecuación (2) sujeta a las condiciones de frontera dadas por las ecuaciones (2a, 2b, 2c, 2d)

SOLUCIÓN PARA EL CASO 1.

$$\frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_1}{\partial y^2} = 0$$

$$0 \leq x \leq a = L \quad 0 \leq y \leq b = W \quad 1$$

Condiciones de frontera para el caso 1

$$T_1 = f_1(y) \quad x = 0 \quad (1a)$$

$$T_1 = 0 \quad x = a = L \quad (1b)$$

$$T_1 = 0 \quad y = 0 \quad (1c)$$

$$T_1 = 0 \quad y = b = W \quad (1d)$$

Se vuelve a proponer una solución de la forma

$$T_1(x, y) = X(x)Y(y) \quad (a5)$$

Derivando parcialmente a la ecuación (b5) con respecto a x , y y sustituyendo en la ecuación (1) se obtiene dos ecuaciones diferenciales ordinarias de segundo orden que son

$$\frac{1}{X} \frac{d^2 X(x)}{dx^2} = -\frac{1}{Y} \frac{d^2 Y(y)}{dy^2} = \lambda^2, \quad \lambda^2 > 0 \quad (a6)$$

de la ecuación (a6) se obtienen dos ecuaciones diferenciales de segundo orden

$$\frac{d^2 Y(y)}{dy^2} + \lambda^2 Y = 0 \quad (a7)$$

$$\frac{d^2 X(x)}{dx^2} - \lambda^2 X = 0 \quad (a8)$$

Donde las soluciones para ésta están dadas por

$$Y(y) = c_1 \cos(\lambda y) + c_2 \sin(\lambda y) \quad (a9)$$

$$X(x) = c_3 e^{-\lambda x} + c_4 e^{\lambda x} \quad (a10)$$

Sustituyendo las ecuaciones (a9) y (b10) en la ecuación (a5)

$$T_1(x, y) = [c_1 \cos(\lambda y) + c_2 \sin(\lambda y)] [c_3 e^{-\lambda x} + c_4 e^{\lambda x}] \quad (a11)$$

Aplicando la condición de frontera (3b).

$$T_1(x, 0) = [c_1 \cos(\lambda(0)) + c_2 \sin(\lambda(0))] [c_3 e^{-\lambda x} + c_4 e^{\lambda x}] = 0 \quad (a12)$$

$$T_1(x, 0) = [c_1 \cos(0) + c_2 \sin(0)] [c_3 e^{-\lambda x} + c_4 e^{\lambda x}] = 0 \quad (a13)$$

$$T_1(x, 0) = [c_1(1) + c_2(0)] [c_3 e^{-\lambda x} + c_4 e^{\lambda x}] = 0 \quad (a14)$$

De donde

$$c_1 = 0 \quad (a15)$$

$$T_1(x, y) = c_2 \sin(\lambda y) [c_3 e^{-\lambda x} + c_4 e^{\lambda x}] \quad (a16)$$

Aplicando la condición de frontera dada por la ecuación (1b)

$$T_1(L, y) = c_2 \sin(\lambda y) [c_3 e^{-\lambda L} + c_4 e^{\lambda L}] = 0 \quad (a17)$$

Para este caso se tiene la siguiente suposición $e^{\lambda L} \rightarrow \sinh(\lambda L)$

para $x \gg 0$ (grandes), $e^{-\lambda L} \rightarrow \sinh(\lambda L)$ para x pequeños,

entonces la ecuación (a17) se escribe de la siguiente manera

$$\sinh(\lambda L) [c_3 + c_4] = 0. \text{ Como } \sinh(\lambda L) \neq 0 \text{ así } c_3 + c_4 = 0$$

de esta $c_3 = -c_4$ Sustituida en la ecuación (a14)

$$T_1(x, y) = c_2 c_4 \sin(\lambda y) \sinh(\lambda x) \quad (a18)$$

Aplicando la condición de frontera dada por la ecuación (1 d)

$$T_1(x, W) = c_3 c_2 \sin(\lambda W) \sinh(\lambda x) = 0 \quad (a18)$$

Donde las constantes deben ser diferente de cero así que la única posibilidad es que

$$\sin(\lambda W) = 0 \quad (a19)$$

Esto sólo puede tenerse si

$$\lambda = \frac{n\pi}{W}, \quad \text{para } n = 1, 2, \dots \quad (a20)$$

$$T_1(x, y) = \sum_{n=1}^{\infty} c_n \sin\left(\frac{n\pi y}{W}\right) \sinh\left(\frac{n\pi x}{W}\right) \quad (a21)$$

Utilizando la condición (1a)

$$T_1(0, y) = f_1(y) = \sum_{n=1}^{\infty} c_n \sin\left(\frac{n\pi y}{L}\right) \sinh\left(\frac{n\pi(0)}{W}\right)$$

$$T_1(0, y) = f_1(y) = \sum_{n=1}^{\infty} c_n \sin\left(\frac{n\pi y}{L}\right) \quad (a22)$$

$$T_1(0, y) = f_1(y) = \sum_{n=1}^{\infty} c_n \sin\left(\frac{n\pi y}{L}\right)$$

Usando la ortogonalidad

$$c_n = \frac{2}{W} \int_0^w f_1(y) \sin\left(\frac{n\pi y}{W}\right) dy \quad (a23)$$

Sustituyendo la ecuación (b23) en la ecuación (b21)

$$T_1(x, y) = \frac{2}{W} \sum_{n=1}^{\infty} \sinh\left(\frac{n\pi x}{W}\right) \sin\left(\frac{n\pi y}{W}\right) \int_0^w f_1(y') \sin\left(\frac{n\pi y'}{W}\right) dy' \quad (a24)$$

La ecuación (b24) es la solución de la ecuación (1) sujeta a las condiciones de frontera dadas por las ecuaciones (2a, 2b, 2c, 2d)

SOLUCIÓN DEL CASO 3

$$\frac{\partial^2 T_3}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_3}{\partial y^2} = 0$$



$$0 \leq x \leq a = L$$

$$0 \leq y \leq b = W$$

1.6.7''

$$c_3 + c_4 = 0 \quad (a19)$$

$$c_3 = -c_4 \quad (a20)$$

$$T_3 = 0 \quad x = 0 \quad (3a)$$

$$T_3 = 0 \quad x = a = L \quad (3b)$$

$$T_3 = f_3(x) \quad y = 0 \quad (3c)$$

$$T_3 = 0 \quad y = b = W \quad (3d)$$

Se propone una solución de la forma

$$T_3(x, y) = X(x)Y(y) \quad (a5)$$

Calculando las segundas derivadas parciales de la ecuación (a5) con respecto a x, y y sustituyendo en la ecuación (4) se obtiene

$$-\frac{1}{X} \frac{d^2 X(x)}{dx^2} = \frac{1}{Y} \frac{d^2 Y(y)}{dy^2} = \lambda^2, \quad \lambda^2 > 0 \quad (a6)$$

De la ecuación (a6) se obtienen dos ecuaciones diferenciales de segundo orden

$$\frac{d^2 X(x)}{dx^2} + \lambda^2 X = 0 \quad (a7)$$

$$\frac{d^2 Y(y)}{dy^2} - \lambda^2 Y = 0 \quad (a8)$$

Donde las soluciones están dadas por

$$X = c_1 \cos(\lambda x) + c_2 \sin(\lambda x) \quad (a9)$$

$$Y = c_3 e^{-\lambda y} + c_4 e^{\lambda y} \quad (a10)$$

Sustituyendo la ecuación (a9) y (a10) en la ecuación (a5)

$$T_3(x, y) = [c_1 \cos(\lambda y) + c_2 \sin(\lambda y)] [c_3 e^{-\lambda x} + c_4 e^{\lambda x}] \quad (a11)$$

Aplicando la condición de frontera dada por la ecuación (3a)

$$T_3(0, y) = [c_1 \cos(\lambda 0) + c_2 \sin(\lambda 0)] [c_3 e^{-\lambda x} + c_4 e^{\lambda y}] = 0 \quad (a12)$$

$$T_3(0, y) = [c_1(1) + c_2(0)] [c_3 e^{-\lambda x} + c_4 e^{\lambda y}] = 0 \quad (a14)$$

De donde se tiene que

$$c_2 = 0 \quad (a15)$$

$$T_3(x, y) = c_1 \cos(\lambda y) [c_3 e^{-\lambda x} + c_4 e^{\lambda x}] \quad (a15') \quad (a16)$$

Utilizando la condición (3d)

$$T_3(x, W) = c_2 \sin(\lambda x) [c_3 e^{-\lambda W} + c_4 e^{\lambda W}] = 0 \quad (a17)$$

Para este caso se tiene la siguiente suposición $e^{\lambda W} \rightarrow \sinh(\lambda W)$

para $x \gg 0$ (grandes), $e^{-\lambda W} \rightarrow \sinh(\lambda W)$ para x pequeños, entonces por la ecuación (a17) se escribe de la siguiente manera

$$T_3(x, W) = c_2 \sin(\lambda y) \sinh(\lambda W) [c_3 + c_4] = 0 \quad (a17) \quad (a18)$$

Como $\sinh(\lambda W), \sin(\lambda x) \neq 0$ entonces:

Sustituyendo en las ecuaciones (a20) y en (a16)

$$T_3(x, y) = c_2 c_4 \sin(\lambda y) \sinh(\lambda x)$$

Aplicando la condición de frontera dada por la ecuación (3b)

$$T_3(L, y) = c_2 c_4 \sin(\lambda y) \sinh(\lambda L) = 0 \quad (a21)$$

Donde las constantes deben ser diferente de cero y las funciones exponenciales también son diferentes de cero, así que la única posibilidad es que

$$\sin(\lambda L) = 0 \quad (a22)$$

Esto sólo puede tenerse si

$$\lambda = \frac{n\pi}{L}, \quad \text{para } n = 1, 2, \dots \quad (a23)$$

Utilizando el principio de superposición para las soluciones y sustituyendo c_1, c_2 por c_n .

$$T_3(x, y) = \sum_{n=1}^{\infty} c_n \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right) \sinh\left(\frac{n\pi y}{L}\right) \quad (a24)$$

Utilizando la condición (3c)

$$T_3(x, 0) = f_3(x) = \sum_{n=1}^{\infty} c_n \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right)$$

$$T_3(x, 0) = f_3(x) = \sum_{n=1}^{\infty} c_n \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right) \sinh\left(\frac{n\pi(0)}{L}\right) \quad (a25)$$

$$T_3(x, 0) = f_3(x) = \sum_{n=1}^{\infty} c_n \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right)$$

Usando la ortogonalidad

$$c_n = \frac{2}{L} \int_0^L f_4(x) \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right) dx \quad (a26)$$

Sustituyendo la ecuación (a26) en la ecuación (a24)

$$T_3(x, y) = \frac{2}{L} \sum_{n=1}^{\infty} \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right) \sinh\left(\frac{n\pi y}{L}\right) \left[\int_0^L f_4(x') \sin\left(\frac{n\pi x'}{L}\right) dx' \right] \quad (a27)$$

La ecuación (a27) es la solución de (3) sujeta a las condiciones de frontera dadas por las ecuaciones (3a, 3b, 3c, 3d).

La solución de la ecuación (5) bajo las condiciones de frontera (5a, 5b, 5c, 5d) está dada por la ecuación(a28):

$$T(x, y) = \frac{2}{W} \sum_{n=1}^{\infty} \sinh\left(\frac{n\pi x}{W}\right) \sin\left(\frac{n\pi y}{W}\right) \int_0^W f_1(y') \sin\left(\frac{n\pi y'}{W}\right) dy' + \frac{2}{W} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sinh\left(\frac{n\pi x}{W}\right)}{\sinh\left(\frac{n\pi L}{W}\right)} \int_0^W \sin\left(\frac{n\pi y'}{W}\right) dy' + \frac{2}{L} \sum_{n=1}^{\infty} \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right) \sinh\left(\frac{n\pi y}{L}\right) \int_0^L f_4(x') \sin\left(\frac{n\pi x'}{L}\right) dx' + \quad (a28)$$



$$\frac{2}{W} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sinh\left(\frac{n\pi y}{L}\right)}{\sinh\left(\frac{n\pi L}{W}\right)} \left[\int_0^L f_4(x') \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi x'}{L}\right) dx' \right]$$

La ecuación 28 es la solución del problema utilizando el principio de super posición que viene dada en la ecuación 2, el procedimiento puede ser utilizado para resolver con otro tipo de condiciones de frontera.

CONCLUSIONES

Una de las formas sencilla pero procedimiento laboriosa de cálculo para este tipo de problemas, es el método separación de variables de Fourier, se puede utilizar la transformada de Laplace, pero este tiene un problema que cuando ya se tiene despejada la función transformada, se debe encontrar la función inversa de esta, por lo general hay dificultades ya que se requiere una buena habilidad en el cálculo transformada inversa, esta puede ser complicada para encontrarla, otra alternativa sería las técnicas numéricas por ejemplo diferencias finita, elemento finito o elemento frontera. Pero estas soluciones obtenidas por estos métodos solo dan solución en unos puntos llamados nodos, y los anteriores son soluciones analíticas que sirven para obtener la solución en cualquier parte del modelo.

El resultado de este procedimiento se utilizará para realizar la validación de los métodos numéricos mencionados. Otro problema a resolver es cuando una de las caras de la frontera tiene condiciones de Neumann, esta condición es la derivada normal que no es otra cosa que la derivada direccional en la dirección normal a la superficie de la frontera correspondiente.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- [1]. Arora, G., Joshi, V., & Garki, I. S. (2020). Developments in Runge–Kutta method to solve ordinary differential equations. In *Recent Advances in Mathematics for Engineering* (pp. 193–202). CRC Press.
- [2]. Grafiati. (2021) *Journal articles on the topic '120219 - Ecuaciones diferenciales ordinarias.* (s/f).
- [3]. Griffiths, B. J., & Kouki, R. (2019). Introducing Taylor series and local approximations using a historical and semiotic approach. *International electronic journal of mathematics education*, 15(2). <https://doi.org/10.29333/iejme/6293>
- [4]. Hubbard, J. H., Habre, S. S., & West, B. H. (2001). The convergence of an Euler approximation of an initial value problem is not always obvious. *The American mathematical monthly: the official journal of the Mathematical Association of America*, 108(4), 326. <https://doi.org/10.2307/2695239>.
- [5]. Jambrina, L. F., (2023), Capítulo 7 Ecuación de Laplace Departamento de Matemática e Informáticas aplicadas a las ingenierías civil y naval. Pp. 166-167.
- [6]. Kamruzzaman, M. C. (2018). *A Comparative Study on Numerical Solution of Initial Value problem by Using Euler's Method and Ruge-Kutta.*

- [7]. Nurujjaman, M. (2020). *Enhanced Euler's Method to Solve First Order Ordinary Differential Equations with Better Accuracy.*
- [8]. Youssef, I. K., & El-Arabawy, H. A. (2007). Picard iteration algorithm combined with Gauss–Seidel technique for initial value problems. *Applied Mathematics and Computation*, 190(1), 345–355. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2007.01.058>
- [9]. Zhang Lijuan, G. (2018). comparison of several Numerical Algorithms for Solvin ordinary Differential Equation initial Value problem. *Advances in Computer Science Research*, 78.

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Esiquio Martín Gutiérrez Armenta: Ingeniero Mecánico egresado de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Azcapotzalco del Instituto Politécnico Nacional. Grado de Maestro y Doctor en Ciencias en Ingeniería Mecánica en la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Zacatenco. emga@azc.uam.mx.

Marco Antonio Gutiérrez Villegas: Licenciatura y Maestría 100% créditos en Matemáticas en la Escuela Superior de Física y Matemáticas del Instituto Politécnico Nacional. grado de Maestro en Ciencias y Doctorado en Ingeniería Mecánica en el Instituto Politécnico Nacional de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Sección de Estudios de Posgrado e Investigación Unidad Zacatenco. magv@correo.azc.uam.mx

Alfonso Jorge Quevedo Martínez: Ingeniero Industrial egresado de la Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Azcapotzalco. Cuenta con una maestría en Gestión Educativa y otra en Docencia, ambas por la Universidad ETAC campus Coacalco. ajqm@azc.uam.mx

Israel Isaac Gutiérrez Villegas: Grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería en Sistemas en la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Zacatenco. iigv@hotmail.com

José Alejandro Reyes Ortiz: Doctorado en Ciencias de la Computación por el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET), Maestría en Ciencias de la Computación por el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET), Ingeniero en Sistemas Computacionales por el Instituto Tecnológico de Colima. jaro@azc.uam.mx.

Josué Figueroa González: Licenciatura en Ingeniería Electrónica en la Universidad Autónoma Metropolitana, Maestría en Ciencias de la Computación en la Universidad Autónoma Metropolitana. jfgo@azc.uam.mx.

María de Lourdes Sánchez Guerrero: Licenciatura En Computación UAM-Azcapotzalco; Maestría En Ciencias De La Computación UAM-Azcapotzalco. lsg@azc.uam.mx.

Javier Norberto Gutiérrez Villegas: Grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería en Sistemas en la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Zacatenco. jgutierrez@tese.edu.mx.



Métodos numéricos clásicos para resolver ecuaciones diferenciales de primer orden

Esiquio Martin Gutierrez Armenta**, Marco Antonio Gutiérrez Villegas*, Alfonso Jorge Quevedo Martínez **, Israel Isaac Gutiérrez Villegas *** ,*, José Alejandro Reyes Ortiz*, María de Lourdes Sánchez Guerrero*, Josué Figueroa González* y Javier Norberto Gutiérrez Villegas******

RESUMEN

Este artículo tiene la finalidad de realizar una comparación de los métodos clásicos utilizando la solución analítica, así como la utilización de programas realizados en el programa Devc++ de los métodos: Euler, Euler Mejorado o Heun y Runge-Kutta de cuarto orden, estos sirven para la solución de problemas de ecuaciones diferenciales de primer orden con valores iniciales. Cauchy demostró que dada una ecuación diferencial con condiciones iniciales tiene una única solución, estas ecuaciones diferenciales de primer orden, se presentan en toda la ingeniería, ciencias exactas, humanísticas, biológicas, administrativas, medicina, entre otras. El más popular simple de estos métodos es el de Euler. Después le sigue el método de Euler mejorado (Heun) y se tienen muchas variantes que han surgido del método de Runge-Kutta de cuarto orden. Euler fue el primero en realizar un método a lo que hoy se le llama análisis numérico. Sin embargo, en la investigación de estos métodos hay una diferencia en cuanto a la convergencia, así como la estabilidad de estos.

ABSTRACT

This article has the purpose of making a comparison of the classical methods, Euler, Improved Euler or Heun's Method and Runge-Kutta of fourth order, these serve for the solution of the Cauchy problem, which showed that given a differential equation with initial conditions has a single solution, these differential equations of first order, are presented in all engineering, exact sciences, humanities, biology, administration, medicine, among others, the most popular simple is the Euler method. This is followed by the improved Euler (Heun) method, and there are many variants that have emerged from the fourth-order Runge-Kutta method.

Euler was the first to perform a method of what is now called numerical analysis. However, in the investigation of these methods there is a difference in terms of convergence, as well as the stability of these.

Palabras claves: Analytical, devc++, Euler, Cauchy.

INTRODUCCIÓN

analítica, así que una alternativa es La utilización de métodos numéricos los cuales proporcionan valores aproximados de las soluciones de las ecuaciones diferenciales ordinarias puntualmente en un intervalo dado. El primer problema de este tipo de condiciones iniciales fue formulado por Leonhard Euler en 1768, Md. Kamruzzaman and Mithun Chandra Nath, (2018), introdujo el primer método numérico sencillo, para resolver numéricamente la ecuación diferencial ordinaria de primer orden estas pueden ser lineales o no lineales, Md. Nurujjaman. Este método es fundamental entre los métodos numéricos para resolver la ecuación diferencial ordinaria. A pesar de que este método es muy lento, dependiendo del número de particiones, el error de propagación es mucho mayor que la solución exacta. Después, los matemáticos reformularon el método de Euler para aumentar su aceleración, reduciendo el error. Los dos métodos propuestos son el método del punto medio y el método de Euler modificado. Este artículo proporciona una breve revisión de la interpretación geométrica del método de Euler, el método del punto medio y el método de Euler modificado. Heun (llamado método de Euler mejorado), hizo contribuciones adicionales en 1900 y Kutta en 1901. Este último caracterizó por completo el conjunto de métodos R-K de orden 4 y propuso el primer método de orden 5. En su artículo, que apareció en 1901. Un desarrollo sobre este se encuentra en el artículo Geeta Arora and Varun Joshi, Isa Sani Garki, Picard propuso un método utilizando el teorema fundamental del cálculo integral 1891[4]., comienza reformulando el problema del valor inicial IKYoussef.A.El-Arabawy

$$y' = f(t, y), y(t_0) = y_0 \quad (1)$$

De la ecuación (1) las soluciones convergen. los autores demuestran John H. Hubbard, Samer S. Habre, and Beverly H. West [6], demuestran el teorema, que si $f(t, x)$, está definida para $t \in [a, b]$, $x \in [c, d]$ y satisface la condición de Lipschitz $|f(t, x_1) - f(t, x_2)| \leq K|x_1 - x_2|$ para $t \in [a, b]$, $x_1, x_2 \in [c, d]$ si $u_n : [a, b] \rightarrow [c, d]$ es una sucesión de aproximaciones de Euler

* UAM-Azcapotzalco, Departamento de Sistemas Área, Sistemas Computacionales. emga@azc.uam.mx, magv@azc.uam.mx, jaro@azc.uam.mx, jfgo@azc.uam.mx, lsg@azc.uam.mx.

**UAM-Azcapotzalco, Departamento de Administración, Área de Matemáticas y Departamento de Sistemas, Área Sistemas Computacionales. ajqm@azc.uam.mx.

***Tecnológico Nacional de México (TecNM)- Tecnológico de estudios superiores de Ecatepec (TESE)-División de ingeniería en sistemas computación. iigv@hotmail.com, jgutierrez@tese.edu.mx.

****IPN-Escuela Superior de Física y Matemáticas – Departamento de Ingeniería y Ciencias Sociales. iigv@hotmail.com.





para la ecuación diferencial ordinaria de primer orden dada por $x' = f(x, t)$ con $u(t_0) = c$ con longitudes de paso que tienden a 0, y si $\lim_{n \rightarrow \infty} u_n(t) = c$ existe para algunos $t_0 \in [a, b]$ entonces existe una única solución para $x' = f(x, t)$ con $u(t_0) = c$. Si teorema no es verdadero para la ecuación diferencial (1) cuando $x = 0$, es decir, cuando la solución cruza el eje t .

Pero las aproximaciones de Euler convergen si cumplen la condición de Laphitz: si una sucesión de Aproximación de Euler $u_n(t)$, definida para $t \in [a, b]$, todas satisfacen $u_n(t) > \varepsilon$ ó $u_n(t) < -\varepsilon$ para algún $\varepsilon > 0$ entonces se aplica el teorema entonces se aplica el Teorema y las u_n convergen a una solución si convergen en un solo punto. Se afirma esto en la siguiente proposición.

Proposición. Sea $h_k > 0$ sea una sucesión de longitudes de paso que tiende a 0, y sea u_k una sucesión que se aproxima al método de Euler con longitud de paso h_k .

1. Si existe t_0 tal que $c_k = u_k(t_0)$ converge a c con $c > 0$, entonces la sucesión $u_k(t)$ converge para cada $t \geq t_0 - 2\sqrt{c} = b$ la función a la función $v(t) = \frac{(t-b)^2}{4}$
2. Si existe t_0 tal que $c_k = u_k(t_0)$ converge a c con $c < 0$, entonces la sucesión $u_k(t)$ converge para cada $t \geq t_0 - 2\sqrt{-c} = b$ la función a la función $v(t) = -\frac{(t-b)^2}{4} + 1$ echo depende de la igualdad fundamental Teorema sin el cual es esencialmente imposible probar nada acerca de las diferentes cuestiones. Lo reformulamos aquí con el siguiente teorema.

TEOREMA.

Sea $f(x, t)$ definida para todo $t \in [a, b]$, $x \in [c, d]$ y satisfice la condición de Lipschitz $|f(t, x_1) - f(t, x_2)| \leq K|x_1 - x_2|$ para todo $t \in [a, b]$ $x_1, x_2 \in [c, d]$ Supongamos que $u_1, u_2 : [a, b] \rightarrow [c, d]$ son funciones continuas diferenciables por partes que satisfacen $|u_2'(t) - f(t, u_2(t))| \leq \delta_2$,

Para todos los puntos $t \in [a, b]$ donde las funciones u_1, u_2 n diferenciables y $|u_1(t_0) - u_2(t_0)| \leq \delta$. Para algunos δ_1, δ_2 , $\delta \geq 0$ entonces $|u_1(t_0) - u_2(t_0)| \leq \delta$. Entonces:

$$|u_1(t_0) - u_2(t_0)| \leq \delta e^{K|t-t_0|} + \frac{\delta_1 + \delta_2}{K} (e^{K|t-t_0|} - 1) \quad (2)$$

Se puede pensar que las ε son los errores de las pendientes que miden hasta qué punto u_1, u_2 no tienen la pendiente adecuada para ser la solución $x' = f(x, t)$ δ como el error de la condición inicial. Entonces, independientemente de la elección de la condición inicial, las aproximaciones sucesivas $y_n(t)$ convergen en algún intervalo $[t_0, t_0 + h]$ la solución del problema 1. Además, si $f(t, y)$ es continua en el rectángulo R , entonces el error de la solución aproximada se estima por la desigualdad

$$\varepsilon_n = |y(t) - y_n(t)| \leq ML^n \frac{(t-t_0)^{n+1}}{(n+1)!}, M = \max_{(t,y) \in R} |f(t, y)| \quad (3)$$

METODOLOGÍA

Se utilizarán los métodos de Euler, Euler Mejorado (método de Heun) y de Runge-Kutta de cuarto orden para resolver la ecuación (4) con algunas con el mismo paso para realizar comparaciones respectivas con su solución analítica.

Se tiene el problema de valores iniciales.

$$\begin{cases} \frac{dy}{dt} = f(t, y) & a < t < b \\ y(a) = \alpha \end{cases} \quad (4)$$

Como en los métodos numéricos se debe de tener una partición para el tiempo sea $\{t_0, t_1, t_2, \dots, t_n\}$ de paso $h > 0$, donde $t_0 = a$ y $t_n = b$ a partir de la condición inicial se determinarán las otras aproximaciones.

La generalización del método de Euler viene dada por:

$$y_{i+1} = y_i + hf(t_i, y_i) \quad (5)$$

Para el método de Euler mejorado (método de Heun)

$$y_{i+1}^* = y_i + hf(t_i, y_i), i = 0, 1, \dots \quad (6)$$

$$y_{i+1} = y_i + \frac{h}{2} [f(t_i, y_i) + f(t_{i+1}, y_{i+1}^*)] \quad (7)$$

Método de Runge-Kutta.

$$k_1 = f(t_i, y_i) \quad (8)$$

$$k_2 = hf\left(t_i + \frac{h}{2}, y_i + \frac{1}{2}k_1\right) \quad (9)$$

$$k_3 = hf\left(t_i + \frac{h}{2}, y_i + \frac{1}{2}k_2\right) \quad (10)$$



$$k_4 = hf(t_i + h, y_i + k_3) \quad (11)$$

$$y_{i+1} = y_i + \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \quad (12)$$

APLICACIÓN 1

Resolver la siguiente ecuación diferencial ordinaria por los métodos numéricos anteriores compararla con la solución analítica.

$$\frac{dy}{dx} = y + x, y(0) = 1 \quad y(1) = ? \quad h = 0.05 \quad \text{Solución analítica}$$

$$y(x) = 2e^x - x - 1.$$

Tabla 1. Muestra los resultados en cada iteración.

N	X	EULER	EULER MEJORADO	RUNGE KUTTA	ANALÍTICA
0	0	1	1	1	1
1	0.05	1.05	1.05125	1.05125	1.05254219
2	0.1	1.105	1.105125	1.10643906	1.11034184
3	0.15	1.16525	1.16425625	1.16576906	1.17366849
4	0.2	1.2310125	1.22890656	1.22945223	1.24280552
5	0.25	1.30256313	1.29935189	1.29771166	1.31805083
6	0.3	1.38019128	1.37588199	1.37078188	1.39971762
7	0.35	1.46420085	1.45880108	1.44890945	1.4881351
8	0.4	1.55491089	1.54842864	1.53235356	1.5836494
9	0.45	1.65265643	1.64510007	1.62138668	1.68662437
10	0.5	1.75778925	1.74916757	1.71629525	1.79744254
11	0.55	1.87067872	1.86100095	1.81738038	1.91650604
12	0.6	1.99171265	1.9809885	1.92495862	2.0442376
13	0.65	2.12129828	2.10953793	2.03936275	2.18108166
14	0.7	2.2598632	2.24707732	2.16094259	2.32750541
15	0.75	2.40785636	2.39405619	2.2900659	2.48400003
16	0.8	2.56574918	2.5509465	2.42711928	2.65108186
17	0.85	2.73403664	2.71824382	2.57250914	2.8292937
18	0.9	2.91323847	2.89646851	2.72666273	3.01920622
19	0.95	3.10390039	3.08616694	2.8900292	3.22141932
20	1	3.30659541	3.28791279	3.06308069	3.43656366

Aplicación 1

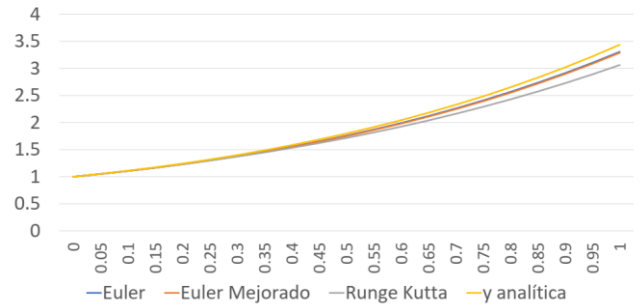


Figura 1.- Muestra gráficamente las aproximaciones con la solución analítica.

Aplicación 2.

Resolver la siguiente ecuación diferencial ordinaria por los métodos numéricos anteriores compararla con la solución analítica.

$$\frac{dy}{dx} = y \cos(x), y(0) = 1 \quad y(1) = ? \quad h = 0.05$$

solución analítica $y(x) = e^{\sin(x)}$

Tabla 2. Muestra los resultados en cada iteración

N	X	EULER	EULER MEJORADO	RUNGE KUTTA	ANALÍTICA
0	0	1	1	1	1
1	0.025	0.5	0.75625	0.75625	0.60972587
2	0.05	0.25062474	0.37844518	0.57239833	0.37890546
3	0.075	0.12593789	0.18985554	0.4336084	0.24477591
4	0.1	0.06343944	0.09548166	0.32874657	0.16925495
5	0.125	0.03203481	0.04813756	0.24945141	0.12922991
6	0.15	0.01621554	0.02432787	0.18943835	0.11066784
7	0.175	0.00822757	0.0123244	0.14398003	0.10504301
8	0.2	0.00418432	0.00625825	0.10951746	0.10717023
9	0.225	0.00213289	0.00318527	0.08336901	0.1138907
10	0.25	0.00108964	0.00162489	0.06351243	0.1232749
11	0.275	0.00055788	0.00083073	0.04842141	0.13413928
12	0.3	0.00028623	0.00042563	0.03694296	0.14575305
13	0.325	0.00014716	0.00021853	0.02820538	0.15766038
14	0.35	7.5804E-05	0.00011243	0.02154902	0.16957267
15	0.375	3.9123E-05	5.7953E-05	0.01647431	0.18130314
16	0.4	2.0228E-05	2.9928E-05	0.01260258	0.19272723
17	0.425	1.0477E-05	1.5483E-05	0.00964653	0.20375865
18	0.45	5.4352E-06	8.024E-06	0.00738804	0.21433477
19	0.475	2.824E-06	4.1649E-06	0.00566136	0.22440793
20	0.5	1.4694E-06	2.1651E-06	0.0043404	0.23394004





21	0.525	7.6564E-07	1.1271E-06	0.00332923	0.24289948
22	0.55	3.9942E-07	5.8752E-07	0.00255473	0.2512591
23	0.575	2.0861E-07	3.0662E-07	0.00196118	0.25899514
24	0.6	1.0907E-07	1.602E-07	0.00150608	0.26608652
25	0.625	5.7074E-08	8.3783E-08	0.00115696	0.27251445
26	0.65	2.9891E-08	4.3856E-08	0.00088902	0.27826222
27	0.675	1.5666E-08	2.2974E-08	0.0006833	0.28331508
28	0.7	8.2149E-09	1.2043E-08	0.00052528	0.28766017
29	0.725	4.3098E-09	6.3162E-09	0.00040388	0.29128647
30	0.75	2.2619E-09	3.3141E-09	0.00031057	0.29418485
31	0.775	1.1873E-09	1.7395E-09	0.00023884	0.296348
32	0.8	6.2335E-10	9.1314E-10	0.00018368	0.29777048
33	0.825	3.2725E-10	4.7939E-10	0.00014126	0.29844872
34	0.85	1.7178E-10	2.5166E-10	0.00010863	0.29838101
35	0.875	9.015E-11	1.3209E-10	8.3534E-05	0.29756752
36	0.9	4.7292E-11	6.9312E-11	6.4226E-05	0.29601027
37	0.925	2.4798E-11	3.6355E-11	4.9372E-05	0.29371315
38	0.95	1.2995E-11	1.9059E-11	3.7946E-05	0.2906819
39	0.975	6.8048E-12	9.9848E-12	2.9156E-05	0.2869241
40	1	3.5604E-12	5.2271E-12	2.2397E-05	0.28244914

Aplicación 2

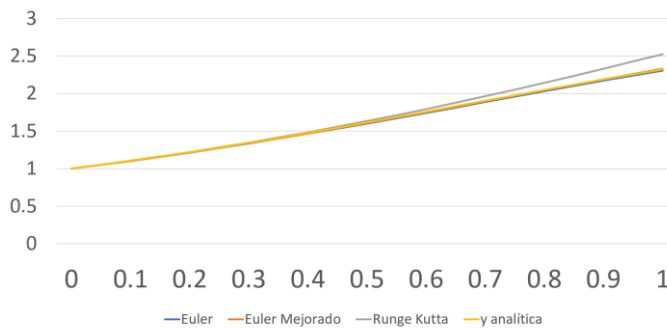


Figura 2.- Muestra gráficamente las aproximaciones con la solución analítica.

APLICACIÓN 3

Resolver la siguiente ecuación diferencial ordinaria por los métodos numéricos anteriores compararla con la solución analítica.

$$\frac{dy}{dx} = y \sin(2x) - 20y, y(0) = 1 \quad y(1) = ? \quad h = 0.025 \quad \text{solución}$$

$$\text{analítica. } y(x) = \left(\frac{-3}{101}\right) \cos(2x) + \left(\frac{30}{101}\right) \sin(2x) + \left(\frac{104}{101}\right) e^{-20x}$$

Tabla 3. Muestra los resultados en cada iteración.

n	x	Euler	Euler Mejorado	Runge Kutta	y analítica
0	0	1	1	1	1
1	0.025	0.5	0.75625	0.75625	0.60972587
2	0.05	0.25062474	0.37844518	0.57239833	0.37890546
3	0.075	0.12593789	0.18985554	0.4336084	0.24477591
4	0.1	0.06343944	0.09548166	0.32874657	0.16925495
5	0.125	0.03203481	0.04813756	0.24945141	0.12922991
6	0.15	0.01621554	0.02432787	0.18943835	0.11066784
7	0.175	0.00822757	0.0123244	0.14398003	0.10504301
8	0.2	0.00418432	0.00625825	0.10951746	0.10717023
9	0.225	0.00213289	0.00318527	0.08336901	0.1138907
10	0.25	0.00108964	0.00162489	0.06351243	0.1232749
11	0.275	0.00055788	0.00083073	0.04842141	0.13413928
12	0.3	0.00028623	0.00042563	0.03694296	0.14575305
13	0.325	0.00014716	0.00021853	0.02820538	0.15766038
14	0.35	7.5804E-05	0.00011243	0.02154902	0.16957267
15	0.375	3.9123E-05	5.7953E-05	0.01647431	0.18130314
16	0.4	2.0228E-05	2.9928E-05	0.01260258	0.19272723
17	0.425	1.0477E-05	1.5483E-05	0.00964653	0.20375865
18	0.45	5.4352E-06	8.024E-06	0.00738804	0.21433477
19	0.475	2.824E-06	4.1649E-06	0.00566136	0.22440793
20	0.5	1.4694E-06	2.1651E-06	0.0043404	0.23394004
21	0.525	7.6564E-07	1.1271E-06	0.00332923	0.24289948
22	0.55	3.9942E-07	5.8752E-07	0.00255473	0.2512591
23	0.575	2.0861E-07	3.0662E-07	0.00196118	0.25899514
24	0.6	1.0907E-07	1.602E-07	0.00150608	0.26608652
25	0.625	5.7074E-08	8.3783E-08	0.00115696	0.27251445
26	0.65	2.9891E-08	4.3856E-08	0.00088902	0.27826222
27	0.675	1.5666E-08	2.2974E-08	0.0006833	0.28331508
28	0.7	8.2149E-09	1.2043E-08	0.00052528	0.28766017
29	0.725	4.3098E-09	6.3162E-09	0.00040388	0.29128647
30	0.75	2.2619E-09	3.3141E-09	0.00031057	0.29418485



31	0.775	1.1873E-09	1.7395E-09	0.00023884	0.296348
32	0.8	6.2335E-10	9.1314E-10	0.00018368	0.29777048
33	0.825	3.2725E-10	4.7939E-10	0.00014126	0.29844872
34	0.85	1.7178E-10	2.5166E-10	0.00010863	0.29838101
35	0.875	9.015E-11	1.3209E-10	8.3534E-05	0.29756752
36	0.9	4.7292E-11	6.9312E-11	6.4226E-05	0.29601027
37	0.925	2.4798E-11	3.6355E-11	4.9372E-05	0.29371315
38	0.95	1.2995E-11	1.9059E-11	3.7946E-05	0.2906819
39	0.975	6.8048E-12	9.9848E-12	2.9156E-05	0.2869241
40	1	3.5604E-12	5.2271E-12	2.2397E-05	0.28244914

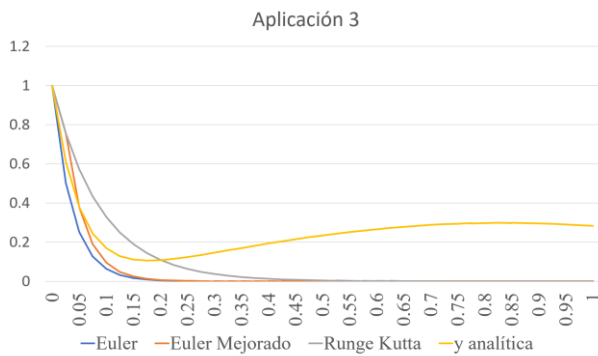


Figura 3.- Muestra gráficamente las aproximaciones con la solución analítica

APLICACIÓN 4.

Resolver la siguiente ecuación diferencial ordinaria por los métodos numéricos anteriores compararla con la solución analítica.

$$\frac{dy}{dx} + \frac{1}{2}y = \frac{3}{2}, y(0) = 4 \quad y(1) = ? \quad h = 0.025 \quad \text{solución analítica}$$

$$y(x) = 3 + e^{-\frac{x}{2}}$$

Tabla 4. Muestra los resultados en cada iteración.

n	x	Euler	Euler Mejorado	Runge Kutta	y analítica
0	0	4	4	4	4
1	0.025	3.9875	4.04359375	3.9875	3.9875778
2	0.05	3.97515625	4.03101758	3.97515625	3.97530991
3	0.075	3.9629668	4.01859861	3.9629668	3.96319442
4	0.1	3.95092971	4.00633488	3.95092971	3.95122942
5	0.125	3.93904309	3.99422444	3.93904309	3.93941306
6	0.15	3.92730505	3.98226538	3.92730505	3.92774349
7	0.175	3.91571374	3.97045582	3.91571374	3.91621887
8	0.2	3.90426732	3.95879387	3.90426732	3.90483742

9	0.225	3.89296398	3.9472777	3.89296398	3.89359735
10	0.25	3.88180193	3.93590547	3.88180193	3.8824969
11	0.275	3.8707794	3.92467541	3.8707794	3.87153435
12	0.3	3.85989466	3.91358571	3.85989466	3.86070798
13	0.325	3.84914598	3.90263464	3.84914598	3.85001609
14	0.35	3.83853165	3.89182046	3.83853165	3.83945702
15	0.375	3.82805001	3.88114145	3.82805001	3.82902912
16	0.4	3.81769938	3.87059594	3.81769938	3.81873075
17	0.425	3.80747814	3.86018224	3.80747814	3.80856032
18	0.45	3.79738466	3.84989871	3.79738466	3.79851622
19	0.475	3.78741735	3.83974372	3.78741735	3.78859689
20	0.5	3.77757464	3.82971568	3.77757464	3.77880078
21	0.525	3.76785495	3.81981298	3.76785495	3.76912636
22	0.55	3.75825677	3.81003407	3.75825677	3.75957212
23	0.575	3.74877856	3.80037739	3.74877856	3.75013657
24	0.6	3.73941883	3.79084143	3.73941883	3.74081822
25	0.625	3.73017609	3.78142466	3.73017609	3.73161563
26	0.65	3.72104889	3.7721256	3.72104889	3.72252735
27	0.675	3.71203578	3.76294278	3.71203578	3.71355197
28	0.7	3.70313533	3.75387475	3.70313533	3.70468809
29	0.725	3.69434614	3.74492006	3.69434614	3.69593431
30	0.75	3.68566681	3.73607731	3.68566681	3.68728928
31	0.775	3.67709598	3.72734509	3.67709598	3.67875163
32	0.8	3.66863228	3.71872203	3.66863228	3.67032005
33	0.825	3.66027437	3.71020675	3.66027437	3.6619932
34	0.85	3.65202094	3.70179792	3.65202094	3.65376979
35	0.875	3.64387068	3.6934942	3.64387068	3.64564853
36	0.9	3.6358223	3.68529427	3.6358223	3.63762815
37	0.925	3.62787452	3.67719684	3.62787452	3.62970741
38	0.95	3.62002609	3.66920063	3.62002609	3.62188506
39	0.975	3.61227576	3.66130437	3.61227576	3.61415988
40	1	3.60462232	3.65350682	3.60462232	3.60653066



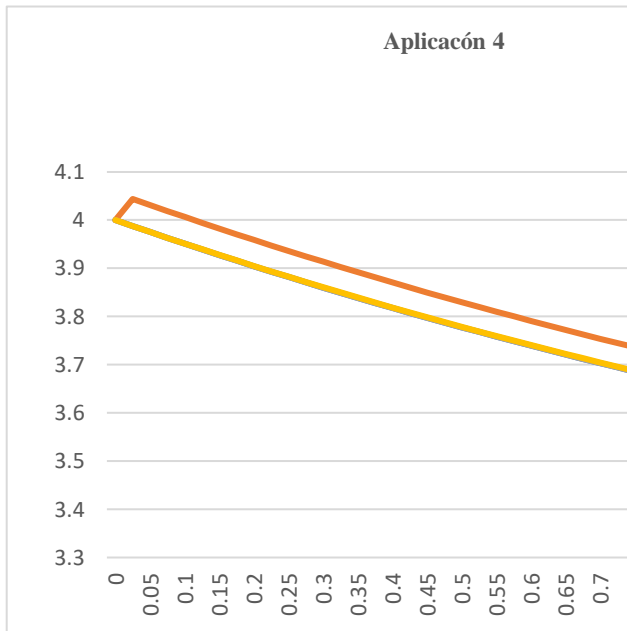


Figura 4.- Muestra gráficamente las aproximaciones con la solución analítica.

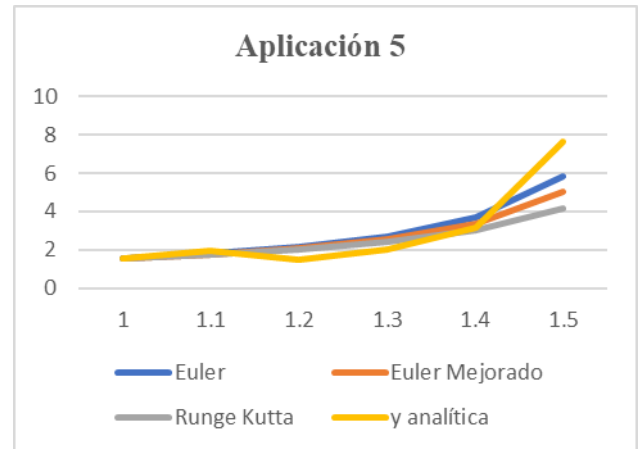


Figura 5.- La solución analítica de la aplicación se muestra en la figura 6.

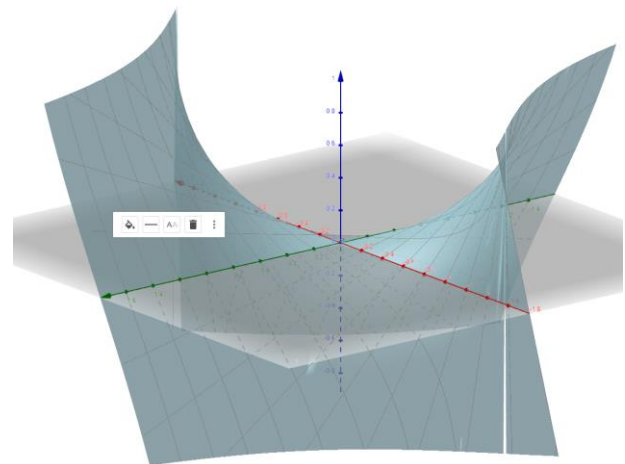


Figura 6. Muestra la solución analítica de la ecuación diferencial ordinaria

APLICACIÓN 5

Resolver la siguiente ecuación diferencial ordinaria por los métodos numéricos anteriores compararla con la solución analítica.

$$\frac{dy}{dx} = y \tan(x), y(1) = 1.55740772465 \text{ y } (1.5) = ? h = 0.1$$

solución analítica: $y(x) = e^{\sec(x)^2 - 3.42551882081}$

Tabla 5. Muestra los resultados en cada iteración

n	x	Euler	Euler Mejorado	Runge Kutta	y analítica
0	1	1.55740772	1.55740772	1.55740772	1.55740772
1	1.1	1.79995961	1.76868165	1.76868165	1.92475297
2	1.2	2.15360841	2.08446443	2.04824262	1.49107422
3	1.3	2.70754914	2.56595623	2.44041623	2.01983055
4	1.4	3.68283609	3.37933442	3.04592165	3.17886326
5	1.5	5.81810162	5.04137393	4.16951221	7.63816342

Figura 5. Muestra gráficamente las aproximaciones con la solución analítica.

En su artículo Zhang Lijuan, Guan Tianny (2018), utilizan los errores de truncamiento local y global los cuales se muestran en la tabla 6.

redondeo y de truncamiento local y global de los métodos.

Tabla 6.- Se muestra el error local y error global

Método	Error local de truncamiento	Error global de truncamiento
Euler	$O(h^2)$	$O(h)$.
Runge-Kuta segundo orden método de Euler mejorado o de Heun	$O(h^3)$.	$O(h^2)$



Runge-Kutta cuarto orden	$O(h^5)$.	$O(h^4)$.
--------------------------	------------	------------

RESULTADOS Y ANÁLISIS

De las tablas 1 a 5 se observa que el método de Runge-Kutta una mejor aproximación esto es debido al error de truncamiento que tiene cada uno de los métodos, se debe de resaltar que si h es muy pequeña el método de Euler mejorara aproximándose más a la solución analítica, pero en este caso se realizaron bastantes iteraciones, de la aplicación 5. Se observa cómo se alejan Runge-Kutta, de la solución analítica.

CONCLUSIONES

El método de Runge-Kutta es el mejor para utilizarlo en cualquier problema en el cual se debe resolver problemas de ecuaciones diferenciales ordinarias con condiciones iniciales, de manera aproximada, en la aplicación 5. de la figura 5. Se observa que ya no se puede aproximar con estos métodos, al observar la figura 6. las pendientes crecen rápidamente. Si quiere poner una restricción deberá de anexar el algoritmo que si dos pendientes de $y' = f(t, y)$ dados y_1, y_2 e tiene $|f(t, y_2) - f(t, y_1)| \leq \varepsilon$ para un $\varepsilon > 0$ dependiendo del problema. Si crece mucho los métodos no obtendrán solución.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- [1]. Arora, G., Joshi, V., & Garki, I. S. (2020). Developments in Runge–Kutta method to solve ordinary differential equations. En *Recent Advances in Mathematics for Engineering* (pp. 193–202). CRC Press.
- [2]. Grafiati. 2021 *Journal articles on the topic '120219 - Ecuaciones diferenciales ordinarias.* (s/f).
- [3]. Hubbard, J. H., Habre, S. S., & West, B. H. (2001). The convergence of an Euler approximation of an initial value problem is not always obvious. *The American mathematical monthly: the official journal of the Mathematical Association of America*, 108(4), 326. <https://doi.org/10.2307/2695239>
- [4]. Kamruzzaman, M. C. (2018). *A Comparative Study on Numerical Solution of Initial Value problem by Using Euler's Method and Runge-Kutta.*
- [5]. Nurujjaman, M. (2020). *Enhanced Euler's Method to Solve First Order Ordinary Differential Equations with Better Accuracy.*
- [6]. Youssef, I. K., & El-Arabawy, H. A. (2007). Picard iteration algorithm combined with Gauss–Seidel technique for initial value problems. *Applied Mathematics and Computation*, 190(1), 345–355. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2007.01.058>
- [7]. Zhang Lijuan, G. (2018). comparison of several Numerical Algorithms for Solvin ordinary Differential Equation initial Value problem. *Advances in Computer Science Research*, 78.

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Esiquio Martín Gutiérrez Armenta: Ingeniero Mecánico egresado de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Azcapotzalco del Instituto Politécnico Nacional. Grado de Maestro y Doctor en Ciencias en Ingeniería Mecánica en la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Zacatenco. emga@azc.uam.mx.

Marco Antonio Gutiérrez Villegas: Licenciatura y Maestría 100% créditos en Matemáticas en la Escuela Superior de Física y Matemáticas del Instituto Politécnico Nacional. grado de Maestro en Ciencias y Doctorado en Ingeniería Mecánica en el Instituto Politécnico Nacional de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Sección de Estudios de Posgrado e Investigación Unidad Zacatenco. magy@correo.azc.uam.mx

Alfonso Jorge Quevedo Martínez: Ingeniero Industrial egresado de la Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Azcapotzalco. Cuenta con una maestría en Gestión Educativa y otra en Docencia, ambas por la Universidad ETAC campus Coacalco. ajqm@azc.uam.mx

Israel Isaac Gutiérrez Villegas: Grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería en Sistemas en la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Zacatenco. ijgv@hotmail.com

José Alejandro Reyes Ortiz: Doctorado en Ciencias de la Computación por el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET), Maestría en Ciencias de la Computación por el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET), Ingeniero en Sistemas Computacionales por el Instituto Tecnológico de Colima. jaro@azc.uam.mx.

Josué Figueroa González: Licenciatura en Ingeniería Electrónica en la Universidad Autónoma Metropolitana, Maestría en Ciencias de la Computación en la Universidad Autónoma Metropolitana. jfgo@azc.uam.mx.

María de Lourdes Sánchez Guerrero: Licenciatura En Computación UAM-Azcapotzalco; Maestría En Ciencias De La Computación UAM-Azcapotzalco. lsg@azc.uam.mx.

Javier Norberto Gutiérrez Villegas: Grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería en Sistemas en la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Zacatenco. jgutierrez@tese.edu.mx.



Contaminación de agua como un problema de aplicación física de la derivada

*José Juan Conteras Espinosa, José Luz Hernández Castillo, Iván Noé Mata Vargas**

RESUMEN

En la enseñanza del cálculo diferencial e integral para las carreras de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Ingeniería Agrícola, Ingeniería en Alimentos, Ingeniería Química, Químico Farmacéutico Biólogo, Licenciado en Farmacia Hospitalaria, Licenciado en Bioquímica Analítica, Química, Química Industrial y Licenciado en Tecnología se busca que el alumno comprenda los conceptos de la asignatura a través del desarrollo analítico de algunas fórmulas y posteriormente se usan como una herramienta para la solución de problemas de las matemáticas o de las áreas de conocimiento así como de las áreas de preespecialización de las carreras aludidas. En las carreras del área de ingeniería en las que el alumno puede tener un mayor conocimiento de antecedentes de matemáticas tales como: álgebra, geometría analítica y trigonometría y que a la vez cuenta con una mayor predisposición para el estudio de estas, el alumno asimila fácilmente los conceptos vertidos.

Como una parte complementaria al curso, se usa software de matemáticas como una alternativa que facilite al alumno el aprendizaje de los temas de la asignatura referida haciendo principalmente uso del software Maple que es versátil y capaz de resolver un problema matemático general o de aplicación de varias formas.

ABSTRACT

In the teaching of differential and integral calculus for the careers of Electrical Mechanical Engineering, Agricultural Engineering, Food Engineering, Chemical Engineering, Chemical Engineering, Pharmaceutical Chemist Biologist, Bachelor in Hospital Pharmacy, Bachelor in Analytical Biochemistry, Chemistry, Industrial Chemistry and Bachelor in Technology, it is sought that the student understands the concepts of the subject through the analytical development of some formulas and subsequently used as a tool for the solution of problems of mathematics or areas of knowledge as well as the areas of pre-specialization of the alluded careers. In the careers of the engineering area in which the student can have a greater knowledge of mathematical background such as: algebra, analytical geometry and trigonometry and at the same time has a greater predisposition for the study of these, the student easily assimilates the concepts presented.

* Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM, Departamento de Matemáticas, Correo electrónico: jjuncon@unam.mx. Dr. Juan José Contreras Espinosa, Dr. José Luz Hernández Castillo, Dr., Iván Noé Mata Vargas.

As a complementary part of the course, mathematical software is used as an alternative that facilitates the student's learning of the topics of the referred subject, mainly using Maple software, which is versatile and capable of solving a general mathematical problem or application in several ways.

Palabras claves: Ingeniería, matemáticas, función, derivada, software, enseñanza.

INTRODUCCIÓN

Cuando se empieza a analizar algunas $\Delta x = x_2 - x_1$ de las aplicaciones en donde se usan las derivadas para modelar las razones a las que cambian las cosas en el mundo, principalmente con respecto al tiempo (Thomas, 2015). El problema de encontrar la recta tangente a una curva y el problema de encontrar la velocidad de un objeto involucran encontrar el mismo tipo de límite, este tipo especial de límite se denomina derivada y en las ciencias e ingeniería puede ser interpretada como una razón de cambio. (Stewart, 2021).

Razones de cambio.

Suponer que y es una cantidad que depende de otra cantidad x . Así, y es una función de x y se expresa como $y = f(x)$. Si x cambia de x_1 a x_2 , entonces el cambio en x (también conocido como incremento de x) es $\Delta x = x_2 - x_1$ y el cambio correspondiente en y es $\Delta y = f(x_2) - f(x_1)$

El cociente de diferencias $\frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{f(x_2) - f(x_1)}{x_2 - x_1}$ se llama razón de cambio promedio de y respecto a x sobre el intervalo $[x_1, x_2]$, y puede interpretarse como la pendiente de la recta secante PQ en la figura 1.

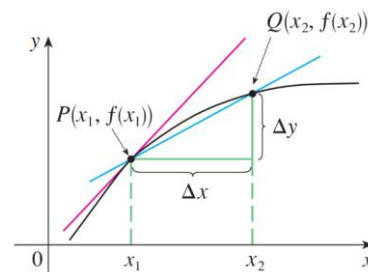


Figura 1.- Razón de cambio promedio de y respecto a x .



Por analogía con la velocidad, considerar la razón de cambio promedio en intervalos cada vez más pequeños haciendo que x_2 tienda a x_1 y, por tanto, hacer que Δx tienda a 0. El límite de estas razones de cambio promedio se llama razón de cambio (instantánea) de y respecto a x en $x = x_1$, lo cual se interpreta como la pendiente de la recta tangente a la curva $y = f(x)$ en $P(x_1, f(x_1))$.

Razón de cambio instantánea $\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta y}{\Delta x} = \lim_{x_2 \rightarrow x_1} \frac{f(x_2) - f(x_1)}{x_2 - x_1}$. Se

conoce este límite como la derivada $f'(x_1)$. Se sabe que una interpretación de la derivada $f'(a)$ es como la pendiente de la recta tangente a la curva $y = f(x)$ cuando $x = a$.

Ahora se tiene una segunda interpretación. La derivada $f'(a)$ es la razón de cambio instantánea de $y = f(x)$ respecto a x cuando $x = a$. El vínculo con la primera interpretación es que si se dibuja la curva $y = f(x)$, entonces la razón de cambio instantánea es la pendiente de la recta tangente a esta curva en el punto donde $x = a$.

Esto significa que cuando la derivada es grande (y, en consecuencia, la curva es pronunciada, como en el punto P de la figura 2), los valores de y cambian rápidamente. Cuando la derivada es pequeña, la curva es relativamente plana (como en el punto Q), y el valor de y cambia lentamente.

En particular, si $s = f(t)$ es la función posición de una partícula que se mueve a lo largo de una línea recta, entonces $f'(a)$ es la razón de cambio del desplazamiento s respecto al tiempo t . En otras palabras, $f'(a)$ es la velocidad de la partícula en el tiempo $t = a$. La rapidez de la partícula es el valor absoluto de la velocidad, es decir, $|f'(a)|$.

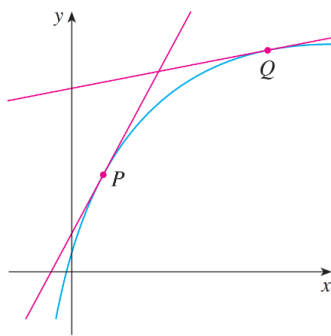


Figura 2.- Los valores y cambian rápidamente en P y lentamente en Q .

Metodología o desarrollo.

Suponer que el petróleo derramado por un buque cisterna con una fuga del referido líquido se esparce siguiendo un patrón circular cuyo radio se propaga con una rapidez de 2 m/s como se observa en la figura 3. ¿Con qué rapidez está incrementándose el área del derrame cuando su radio es de 60 m ?

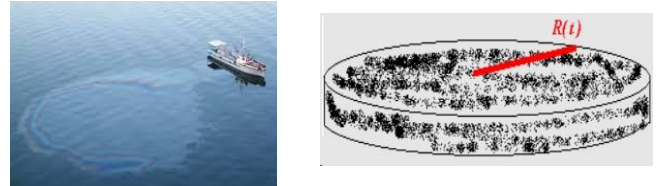


Figura 3.- Representación de la mancha del petróleo derramado por el buque cisterna y representación del radio en función del tiempo t .

3. Resultados y análisis

Solución.

Para la solución se hacen las siguientes consideraciones.

t = número de segundos transcurridos a partir del momento del derrame.

r = radio del derrame en metros después de t segundos.

A = área del derrame en m^2 después de t segundos.

dr/dt = rapidez con la que se está incrementando el radio en el tiempo.

dA/dt = rapidez con la que se está incrementando el área con el tiempo.

Por lo tanto, la incógnita es dA/dt ; $r = 60 \text{ m}$, dA/dt es la rapidez con la que se está incrementando el área del derrame cuando $r = 60 \text{ m}$.

Se sabe que el área de un círculo está dada por $A = \pi r^2$, como A y r son funciones variables que dependen de t , se deriva la expresión $A = \pi r^2$ con respecto a t para obtener.

De $A = \pi r^2$

$$\frac{d}{dt}(A) = \frac{d}{dt}(\pi r^2) ; \frac{d}{dt}(A) = \pi \frac{d}{dt}(r^2) ; \frac{dA}{dt} = 2\pi r^{2-1} \frac{dr}{dt} ;$$

$$\frac{dA}{dt} = 2\pi r \frac{dr}{dt}$$

Se sabe que.

$$\frac{dr}{dt} = 2 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

Por lo tanto.



$$\frac{dA}{dt} = 2\pi r (2); \frac{dA}{dt} = 4\pi r$$

Ahora cuando $r = 60m$.

$$\left. \frac{dA}{dt} \right|_{r=60} = 4\pi(60) ; \left. \frac{dA}{dt} \right|_{r=60} = 240\pi m^2 / seg$$

O bien.

$$\left. \frac{dA}{dt} \right|_{r=60} = 753.98 m^2 / seg$$

Respuesta.

El área del derrame se incrementa con una rapidez de $240\pi m^2/s$, cuando su radio es de $60m$.

Con maple

> restart: # Se limpian las memorias de maple.

> A:=Pi*r^2; # Se ingresa la función área.

A:= pi r^2

> dA/dt:=diff(A,r)*[dr/dt]; # Se calcula la derivada respecto al tiempo t.

dA/dt = 2 pi r[dr/dt]

> subs([dr/dt]=2,%); # Se sustituye la rapidez de cambio del radio en el tiempo t.

dA/dt = 4 pi r

> subs(r=60,%); # Se sustituye el radio $r = 60m$

dA/dt = 240 pi

> evalf(%); # Se obtiene el resultado en decimales.

dA/dt = 753.9822

En seguida se simula el crecimiento del derrame de petróleo con una animación, la cual se puede observar en la figura 4.

> restart:with(plots):

> p1:=implicitplot([seq(x^2+y^2=j^2,j=-1..11)],x=-12..12,y=-12..12,color=[red,green,blue,

magenta],axes=normal,grid=[100,100]):

> p2:=animate([11*sin(t)*cos(u),11*sin(t)*sin(u),u=0..2*Pi],t=0..Pi,view=[-11..11,-11..11],frames=100,thickness=3,color=black):

> display(p1,p2);

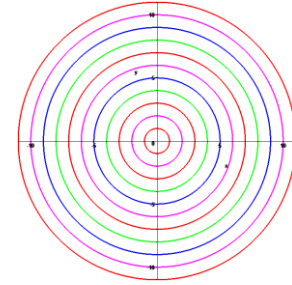


Figura 4.- Animación de la mancha del petróleo derramado por el buque cisterna en función del tiempo t .

Conclusiones

Para el proceso de enseñanza-aprendizaje en el estudio del cálculo diferencial en las carreras de ingenierías es de los más grandes desafíos de la educación en la actualidad, no solo por ser un contenido en la formación de aquellos alumnos que estudian ingeniería, ya que los estudiantes de primer ingreso en la mayoría de las carreras de ingeniería que se imparten en esta institución, presentan dificultades en su asimilación y son causa de bajos índices de aprovechamiento académico, así como que, la asignatura llegue a presentar un alto índice de reprobación.

Es de suma importancia el protagonismo de las TIC para la introducción de los conceptos básicos más esenciales y para la resolución de ejercicios de tópicos de la asignatura y de problemas propios de las carreras de ingeniería.

Con un buen uso de las TIC en la solución de problemas propios para la formación de ingenieros, se puede contribuir al logro de aprendizajes significativos en los estudiantes.

Una mejora en la estructura del proceso de enseñanza-aprendizaje del cálculo diferencial con el apoyo de las TIC en las carreras de ingeniería en nuestra institución considera la utilización de herramientas como entorno virtual de enseñanza aprendizaje de las matemáticas para facilitar el intercambio entre los profesores y estudiantes.

Agradecimientos

Trabajo realizado con el apoyo del programa UNAM-DGAPA-PAPIME 108322.



REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

Stewart, J. (2021). Cálculo de una variable. Trascendentes tempranas. México: CENGAGE.

Thomas. (2015). Cálculo de una sola variable. México: PEARSON.

Información en línea
<http://www.maplesoft>.

INFORMACIÓN ACADÉMICA

José Juan Contreras Espinosa: Ingeniero Mecánico Electricista egresado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, Maestro en Ingeniería orientación Metal Mecánica egresado de la División de Estudios de posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM y Doctor en Educación, UCI.

José Luz Hernández Castillo: Ingeniero Agrícola egresado de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM, Maestro en Educación egresado de la UCI y Doctor en Educación de la UCI.

Iván Noé Mata Vargas: Ingeniero Mecánico egresado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, Maestro en Ingeniería orientación Metal Mecánica egresado de la División de Estudios de posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM y Doctor en Educación, UCI.



Optimización del volumen de un tanque abierto como un problema geométrico de aplicación de la derivada

*José Juan Conteras Espinosa, José Luz Hernández Castillo, Iván Noé Mata Vargas**

RESUMEN

Con este trabajo se deja ver claramente una de las aplicaciones fundamentales del cálculo diferencial e integral, referente al tema de máximos y mínimos como una aplicación real, en el diseño de un tanque cilíndrico circular recto de almacenamiento de aceite o de cualquier fluido que se deseara. La solución se obtiene con el criterio de la segunda derivada para observar la bondad y rapidez de este criterio, si $f''(x_0) \neq 0$.

ABSTRACT

This work clearly shows one of the fundamental applications of difference and integral calculus, referring to the subject of maxima and minima as a real application, in the design of an oil storage tank or any desired fluid. The solution is obtained with the criterion of the second derivative to observe the goodness and speed of this criterion.

Palabras claves: Ingeniería, matemáticas, optimización, derivada, software, enseñanza.

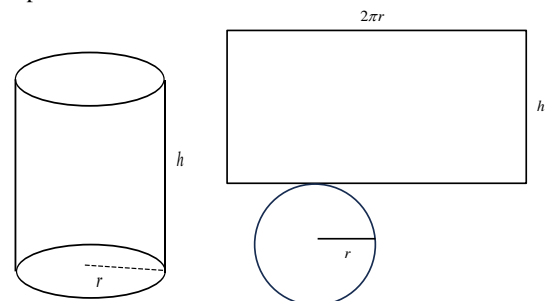
INTRODUCCIÓN

En la ingeniería es muy frecuente interesarse en los valores máximos y mínimos relativos de una función; en la realidad, una compañía siempre le va a beneficiar maximizar sus ganancias a la vez que minimiza los costos en la fabricación del algún producto. Observe que todas las latas que contienen, por ejemplo, 12 oz de alimento (355 ml) tienen el mismo aspecto físico. El hecho de que todas las latas de un volumen específico tengan la misma forma (mismos radio y altura) no es coincidencia, puesto que hay dimensiones específicas que minimizan la cantidad de metal usado y, entonces, reducen los costos de construcción de la lata a una compañía embotelladora. Esto no es tan simple como el que una empresa copie el éxito de otra empresa, sino, en vez de ello, que un gran número de ingenieros buscan el diseño que minimice la cantidad de material usado. (Zill,2011,p.235).

En general, la función que describe la cantidad que se quiere optimizar, al encontrar su valor máximo o mínimo, la definiremos como función objetivo. Una relación entre las variables en un problema de optimización (principalmente está relacionada con algún valor fijo o constante) se le denominará función restricción. La restricción es la que va a facilitar la eliminación de una de las variables en la construcción de la función objetivo, así también, impone una limitación sobre la forma en que las variables pueden modificar en la realidad.

Metodología o desarrollo.

Se quiere diseñar un tanque de forma cilíndrica circular recto de almacenamiento de aceite, se cuenta con 200 m² de lámina, ¿Cuáles serán las dimensiones de dicho tanque para que se pueda almacenar el máximo volumen de aceite? Nota: el tanque no tiene tapa ver figura 1. No tomar en cuenta el espesor del corte ni el desperdicio de material.



$$V = \pi r^2 h, \quad A_T = A_B + A_L, \quad A_B = \pi r^2; \quad A_L = 2\pi r h$$

$$A_T = \pi r^2 + 2\pi r h$$

Figura 1.- Volumen de un cilindro circular recto, con la representación del correspondiente volumen y áreas que definen al problema.

Solución

El dominio práctico del experimento es $[0, 2r]$. Ver figura 2.

Lo que se desea optimizar es el volumen del tanque. Se sabe que el volumen de un cilindro circular recto está dado por

$$V = \pi r^2 h \quad (1)$$

* Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM, Departamento de Matemáticas, Correo electrónico: jjuncon@unam.mx. Dr. Juan José Contreras Espinosa, Dr. José Luz Hernández Castillo, Dr., Iván Noé Mata Vargas.



como el volumen depende de r y h , se deben tener relaciones auxiliares para dejar el volumen en función de r o de h .

Se conoce el área lateral de un cilindro circular recto

$$Al = 2\pi rh \quad (2)$$

y también el área de la base.

$$Ab = \pi r^2 \quad (3)$$

Ahora se encuentra el área total del tanque.

$$At = Ab + Al \quad (4)$$

Se sustituye (2) y (3) en (4).

Se sabe que $At = 200 \text{ m}^2$ entonces.

$200 = \pi r^2 + 2\pi rh$, se despeja h .

$$h = \frac{200 - \pi r^2}{2\pi r} \quad (5)$$

Se sustituye (5) en (1).

$$V = \pi r^2 h$$

$$V(r) = (\pi r^2) \left(\frac{200 - \pi r^2}{2\pi r} \right)$$

Realizando operaciones y simplificando.

$$V(r) = (\cancel{\pi} r) \left(\frac{200 - \pi r^2}{2 \cancel{\pi} r} \right) = \frac{r(200 - \pi r^2)}{2} = \frac{200r - \pi r^3}{2}$$

$$\text{o bien } V(r) = 100r - \frac{\pi r^3}{2}$$

Entonces el volumen ahora quedó en función de la variable r , derivar el volumen, con respecto a r .

$$V'(r) = 100 - \frac{3\pi r^2}{2} \text{ se resuelve } V'(r) = 0.$$

$$100 - \frac{3\pi r^2}{2} = 0, \text{ se despeja } r.$$

$$-\frac{3\pi r^2}{2} = -100; \quad \frac{3\pi r^2}{2} = 100; \quad r^2 = \frac{100}{\frac{3}{2}\pi}; \quad r^2 = \frac{200}{3\pi};$$

$$r^2 = \frac{2(3\pi)(100)}{(3\pi)^2}; \quad r = \frac{10\sqrt{6\pi}}{3\pi} = 4.6065 \text{ m}$$

Se calcula la segunda derivada del volumen respecto a r .

$$V''(r) = -\frac{6\pi r}{2} = -3\pi r$$

Ahora se sustituye $r = \frac{10\sqrt{6\pi}}{3\pi}$ en la segunda derivada.

$$V''\left(\frac{10\sqrt{6\pi}}{3\pi}\right) = -3\pi\left(\frac{10\sqrt{6\pi}}{3\pi}\right) = -10\sqrt{6\pi} < 0$$

Por lo tanto, existe un valor máximo en $r = \frac{10\sqrt{6\pi}}{3\pi}$.

Como ya se conoce r se sustituye en (5) para calcular h . Quedando.

$$h = \frac{200 - \pi r^2}{2\pi r}, \quad r^2 = \frac{200}{3\pi}$$

$$h = \frac{200 - \pi\left(\frac{200}{3\pi}\right)}{2\pi\left(\sqrt{\frac{200}{3\pi}}\right)} = \frac{200(3-1)}{3} = \frac{200(2)}{3} = \frac{2(200)\sqrt{3\pi}}{3(20\pi\sqrt{2})}$$

$$h = \frac{20\sqrt{3\pi}}{3\pi\sqrt{2}} = \frac{20\sqrt{6\pi}}{6\pi} = \frac{10\sqrt{6\pi}}{3\pi}$$

$$h = \frac{10\sqrt{6\pi}}{3\pi}$$

Observar que $r = h$.

Calculando el volumen con r y h encontrados.

$$V = \pi\left(\frac{10\sqrt{6\pi}}{3\pi}\right)^2\left(\frac{10\sqrt{6\pi}}{3\pi}\right) = \pi\left(\frac{10\sqrt{6\pi}}{3\pi}\right)^3 = \pi\left(\frac{1000(6\pi)\sqrt{6\pi}}{27\pi^3}\right)$$

$$V = \frac{1000(2)\sqrt{6\pi}}{9\pi} = \frac{2000\sqrt{6\pi}}{9\pi}$$

$V \approx 307.2059 \text{ m}^3$, es el volumen máximo que se puede almacenar con 200 m^2 de lámina.

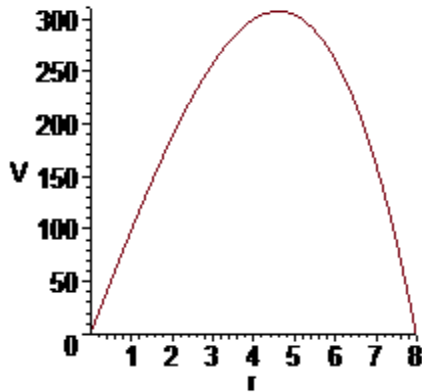


Figura 2.- Gráfica de la función volumen. Donde se observa el volumen máximo.

Conclusiones

Los ejercicios de aplicación en ingeniería son esenciales para que los estudiantes adquieran habilidades prácticas, conecten la teoría con la práctica, apliquen conocimientos multidisciplinarios, se preparen para el mundo laboral, refuercen el aprendizaje y desarrollen habilidades de resolución de problemas. Estos ejercicios desempeñan un papel fundamental en la formación de ingenieros competentes y preparados para enfrentar los desafíos del campo de la ingeniería.

Además, la resolución de ejercicios de aplicación es muy importantes por que simula situaciones y desafíos que los estudiantes pueden encontrar en su futura carrera profesional. Esto les brinda la oportunidad de familiarizarse con los tipos de problemas que pueden enfrentar y les permite desarrollar habilidades y competencias relevantes para el mundo laboral.

Agradecimientos

Trabajo realizado con el apoyo del programa UNAM-DGAPA-PAPIME 108322.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- Stewart, J. (2021). Cálculo de una variable. Trascendentes tempranas. México: CENGAGE.
- Thomas. (2015). Cálculo de una sola variable. México. PEARSON.
- Zill, D. (2011). Cálculo de una variable. Trascendentes tempranas. México. McGRAW-HILL.

INFORMACIÓN ACADÉMICA

José Juan Contreras Espinosa: Ingeniero Mecánico Electricista egresado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, Maestro en Ingeniería orientación Metal Mecánica egresado de la División de Estudios de posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM y Doctor en Educación, UCI.

José Luz Hernández Castillo: Ingeniero Agrícola egresado de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM, Maestro en Educación egresado de la UCI y Doctor en Educación de la UCI.

Iván Noé Mata Vargas: Ingeniero Mecánico egresado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, Maestro en Ingeniería orientación Metal Mecánica egresado de la División de Estudios de posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM y Doctor en Educación, UCI.



Modelación de una montaña rusa con funciones polinomiales haciendo uso de software libre

Valeria Salud Herrera, Carlos Oropeza Legorreta, José Juan Contreras Espinosa*

RESUMEN

Las montañas rusas consideradas como uno de los inventos más importantes en la industria del entretenimiento y símbolo de los parques de diversiones datan del siglo dieciocho y han continuado evolucionando e incluyendo nuevas tecnologías y funciones matemáticas. El objetivo del proyecto es mostrar las propiedades de las funciones polinomiales y su aplicación en la construcción de las montañas rusas haciendo uso del software libre GeoGebra. Se ha reconocido que los estudiantes no vinculan la teoría con la práctica, se pierden fácilmente porque parece que están frente a un tema muy abstracto y se sugiere buscar otras maneras de que el estudiante aprenda ya que dicha temática juega un rol determinante en el desarrollo de diversas áreas de aplicación. Actualmente, se ha observado que un número considerable de estudiantes desarrollan algunas habilidades relacionadas con el uso de la tecnología. En el reporte se proporcionan algunas de las exploraciones que hemos realizado con diferentes grupos de estudiantes de ingeniería y se comentan varias de las regularidades observadas.

ABSTRACT

Considered one of the most important inventions in the entertainment industry and a symbol of amusement parks, roller coasters date back to the eighteenth century and have continued to evolve and include new technology and mathematical functions. The objective of our project is to facilitate the learning of polynomial functions, and their application in the construction of roller coasters using the software GeoGebra. It has been recognized that students do not link theory with practice, they get easily lost because it seems that they are dealing with a very abstract subject, and it is suggested to look for other ways for the student to learn since said subject plays a determining role in the development of various fields of application. Currently, it has been observed that a considerable number of students develop some skills related to the use of technology. The report provides some evidence obtained from the research we have carried out with different groups of undergraduate students, and we comment on the observed regularities.

Palabras claves: Modelación, funciones polinomiales, software libre.

* UNAM, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Departamento de Matemáticas, valeria.salud@gmail.com, coropeza96@hotmail.com, jjuancon@unam.mx. Estudiante, Profesor y Profesor.

INTRODUCCIÓN

Las TIC son ahora una innovación educativa que permite a los profesores y estudiantes realizar cambios decisivos en el proceso de enseñanza y aprendizaje. El uso de las TIC en la docencia sirve como canal de comunicación e intercambio de conocimientos y experiencias entre docentes y alumnos. Todo lo anterior ha llevado al desarrollo de nuevas formas de enseñar y evaluar unidades, la educación está cambiando y los docentes ya no son gestores del conocimiento sino instructores que permiten que los alumnos dirijan su aprendizaje. En este sentido, el alumno es el líder de la clase y debe trabajar de forma independiente con sus compañeros. La preocupación de los autores de esta propuesta y que converge en este escrito, toma lugar al coincidir que es imperante poner atención y mejorar el método de enseñanza tradicional que venimos desarrollando en nuestras aulas y, sobre todo, que habremos de promover una empatía hacia las dificultades que enfrentan nuestros estudiantes al resolver actividades, problemas, ejercicios relacionados con las matemáticas.

Una segunda preocupación, ha sido darnos cuenta que los libros de apoyo a los que recurrimos para utilizar en nuestras clases, no necesariamente se construyen pensando en promover un aprendizaje transversal o global como lo señalan Reyzábal y Sanz (1995). Nuestra propuesta pretende apoyarse de la transversalidad entendida como lo refiere Monclus y Saban (1999) quienes le dan sentido con dos posibilidades: la primera, relacionada con el cruce de todas las disciplinas y la segunda vista como elemento vertebral del aprendizaje que une diferentes áreas enhebrando contenidos curriculares. En ese sentido, los polinomios se utilizan para describir curvas de distintos tipos, en el diseño de montañas rusas se utilizan para describir y aproximar curvas complejas en sus paseos y modelar la trayectoria de dichas atracciones.

ANTECEDENTES

En la actualidad la industria de la animación ha diversificado las maneras de realizar un producto, ya sean las técnicas, metodologías utilizadas, tendencias de moda, entre otras. Una actividad complementaria que nace al interior de la asignatura de álgebra lineal, tiene que ver con el desarrollo de un proyecto de aplicación, el cual dio lugar al diseño y modelado de una montaña rusa tomando como fundamento teórico las funciones polinomiales donde además de evidenciar la utilización de los conocimientos aprendidos en la asignatura se hace uso de la parte dinámica con los deslizadores del software libre GeoGebra.

Por otra parte, Hitt (2003) afirma que el desarrollo de la tecnología y la capacidad de graficación de las computadoras y calculadoras





impulsó el estudio del rol que juegan las diferentes representaciones de un concepto matemático en su construcción. Además, reconoce que las distintas representaciones de un concepto matemático sólo definen una parte del mismo, por lo tanto, el tratamiento de las diferentes representaciones del concepto es lo que permitirá su construcción. Es decir, las tareas de análisis y conversión entre representaciones y la manipulación coherente de ellas pueden permitir una sólida construcción del concepto en cuestión. En ejemplo que se reporta, se realiza un estudio de sobre el dominio y rango de la función, un análisis de la trayectoria aproximada del carrito, intervalos característicos del estudio, trayectoria del ave que acompaña el movimiento, uso de software libre, entre otros.

DESARROLLO DEL TEMA

Una función polinómica es una función cuya expresión algebraica es un polinomio, es decir, una función polinómica está definida por la suma o resta de un número finito de términos de diferente grado.

Por lo tanto, una función polinómica se describe matemáticamente con la siguiente expresión (1):

$$f(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + \dots + a_nx^n \quad (1)$$

Las funciones polinómicas tienen las siguientes características:

- El dominio de cualquier función polinómica es el conjunto de los números reales.

$$\text{Dom } f = R$$

- Todas las funciones polinómicas son continuas.
- Las funciones polinómicas de grado mayor que 1 no tienen asíntotas.
- Independientemente del tipo de función polinómica que sea, el único punto de corte con el eje de las ordenadas (eje Y) está a la altura de su término independiente, es decir, en el siguiente punto: $(0, a_0)$
- En cambio, una función polinómica interseca el eje de las abscisas (eje X), tantas veces como el grado de la función.
- Si una función polinómica solo tiene términos de grado par, implica que es simétrica respecto al eje OY. Por otro lado, si una función polinómica solo tiene términos de grado impar, significa que la función es simétrica respecto al origen de coordenadas.
- El número de extremos relativos (máximos o mínimos) de una función polinómica es, como mucho, el grado del polinomio de la función menos 1.
- El número de puntos de inflexión de una función polinómica es, como máximo, igual al grado del polinomio de la función menos 2. (funciones,xyz, 2021)

La trayectoria de una montaña rusa se puede representar mediante una función polinomial. Estas funciones están presentes cuando la montaña rusa tiene cambios en la subida y bajada, cuando subimos hasta un punto determinado y comenzamos a bajar, decimos en matemáticas que estamos en un máximo, que puede ser relativo, si durante el trayecto nos encontramos otros puntos máximos mayores, o absoluto si es el mayor de todos. Lo mismo ocurre

cuando bajamos y comenzamos a subir, entonces hablamos de mínimos relativos y mínimos absolutos. De esta forma las funciones polinomiales describen los distintos tipos de curvas presentes en las atracciones mecánicas (cienciasfera.com, s.f)

CONSTRUCCIÓN DE UNA MONTAÑA RUSA MEDIANTE FUNCIONES POLINOMIALES

Las montañas rusas han sido durante mucho tiempo una atracción emocionante y popular en los parques temáticos de todo el mundo. Estas estructuras mecánicas ingeniosamente diseñadas ofrecen a los visitantes una experiencia llena de adrenalina y diversión. Detrás de la construcción de una montaña rusa hay un complejo proceso de diseño e ingeniería, y una de las técnicas utilizadas para crear emocionantes recorridos es mediante el uso de funciones polinomiales. En este trabajo se propone explorar cómo las funciones polinomiales se aplican en la construcción de montañas rusas, su importancia en el diseño de los recorridos y las ventajas que ofrecen para lograr atracciones seguras y emocionantes.

A continuación, se detallan los pasos realizados para ejecutar la propuesta mediante el software libre GeoGebra.

- Introducir la función polinomial $f(x)$ que indica la trayectoria de la montaña rusa (ecuación 2).
- Ajustar la función en los intervalos característicos donde se realiza el estudio (de -2.2 a 1.89). Ingresar la Función con el siguiente formato: (función, extremo inferior, extremo superior)
- Crear un deslizador con un intervalo de -2.2 a 1.89, incremento de 1, velocidad 1 y repetición creciente.
- Crear un punto 'A' con coordenadas $(a, f(a))$
- Generar una circunferencia con centro en el punto 'A' y radio 0.2 que se aproxima a la trayectoria descrita por el polinomio.
- Hallar los puntos de Intersección entre la circunferencia y la función $f(x)$
- Generar la integral de la función $f(x)$ de -2.2 a 1.89 y darle el estilo deseado en la configuración
- Colocar una imagen de un paisaje y ajustarla como imagen de fondo
- Colocar otra imagen de un carrito de montaña rusa y ajustar su posición en la configuración.

En la Figura 1, se puede observar a detalle el resultado de esta primera etapa de elaboración. Al diseñar una montaña rusa, cada segmento del recorrido puede representarse mediante una función polinomial que describe cómo la altura o la posición del carro varía en función de la distancia recorrida. El grado del polinomio determina la complejidad de la curva y, por tanto, la emoción del paseo.

$$f(x) = -0.01x^9 - 0.03x^8 + 0.12x^7 + 0.17x^6 - 0.67x^5 - 0.42x^4 + 1.4x^3 + 0.66x^2 - 0.61x + 0.47 \quad (2)$$

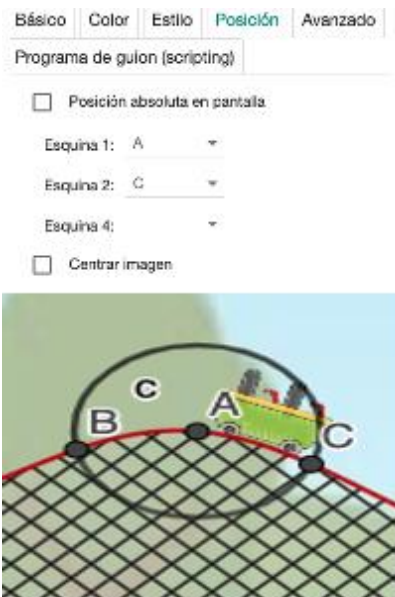


Figura 1. Posición. Fuente: Elaboración propia.

- Dejar como objetos no visibles a los puntos y a la circunferencia.
- Crear dos botones de play y pausa. Configurar su guión y estilo añadiendo las imágenes deseadas como se muestra en la Figura 2.

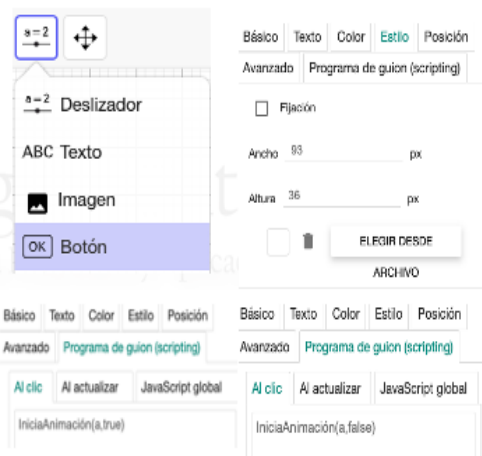


Figura 2. Configuración de Botones. Fuente: Elaboración propia.

- Obtenemos el resultado final como se muestra en la Figura 3.

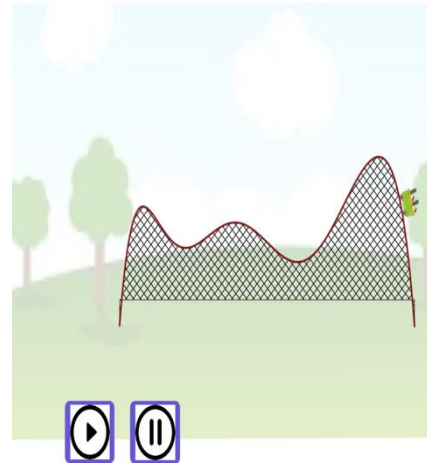


Figura 3. Resultado. Fuente: Elaboración propia.

Al darle play, se genera la trayectoria de la montaña rusa, obteniendo como resultado una animación, como se muestra en el siguiente link:

<https://www.geogebra.org/classic/tjmu8rn>

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Se creó un escenario interactivo para los estudiantes permitiendo visualizar las funciones polinomiales que describe la trayectoria de una montaña rusa. Lo anterior, garantiza el aprendizaje del tema de una forma interactiva y creativa. Es importante resaltar que la propuesta sistemáticamente está abierta a posibles modificaciones que contribuyan a mejorarla. Lo que abre la posibilidad de agregar el estudio de conceptos como máximos y mínimos, asíntotas, cálculo de primera y segunda derivada, etc.

CONCLUSIONES

La realización del trabajo fue satisfactoria y bien implementada. Cabe señalar que es un proyecto viable que contrasta la parte analítica y conceptual de las matemáticas que intervienen; sin embargo, los conceptos subyacentes pueden representar un reto en el aprendizaje de los estudiantes. La propuesta resulta una forma interesante y didáctica de comprender el tópico de funciones polinomiales, así como reconocer la importancia y aplicación de este tema en la construcción de montañas rusas. Sin embargo, no se puede dejar de lado la elaboración de otros estudios no menos importantes por realizar como por ejemplo: elementos estructurales de estática, resistencia de materiales, costos, impacto en la naturaleza y en general en la sociedad.

Con respecto a la implementación del software GeoGebra en la enseñanza del tema, se logra que el estudiante pueda comprobar



los cálculos matemáticos que realiza y pueda desarrollar ciertas habilidades tecnológicas, lo que permite detectar ciertos patrones, hacer suposiciones, establecer definiciones deductivas e incluso realizar algunas conjeturas. Cabe destacar que el software permite implementar una parte dinámica a la propuesta que resulta atractiva y a la vez enriquecedora en la comprensión de ciertos tópicos en general y en particular el estudio de funciones polinomiales que se ha desarrollado en el presente trabajo.

REFERENCIAS

- Hitt, F. (2003). Una reflexión sobre la construcción de conceptos matemáticos en ambientes con tecnología. En A. Arratia (Ed.), *Boletín de la Asociación Matemática Venezolana X (2)*, 213 – 223.
- Monclus, A. y Saban, C. (1999). Educación para la paz. Madrid: Síntesis.
- Reyzábal, M. y Sanz, A. (1995). La transversalidad y la educación integral. Los ejes transversales, aprendizaje para la vida. Madrid: Escuela Española.

CIBERGRAFÍA

- Cienciasfera.com (s.f.). *La Montaña rusa*. Revisado el 21 de Julio de 2023, de https://www.cienciasfera.com/materiales/matematicas/matematicas02cs/tema05/41_la_montaa_rusa.html
- Funciones.xyz (s.f) *¿Qué es una Función Polinómica? (ejemplos, tipos, gráfica, propiedades,...)*. Revisado el 21 de Julio de 2023, de <https://www.funciones.xyz/funcion-polinomica/>

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Valeria Salud Herrera: Estudiante de Ingeniería Industrial de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM.

Carlos Oropeza Legorreta: Ingeniero Eléctrico de la Universidad Autónoma Metropolitana, Maestro en Educación Matemática de la Escuela Normal Superior del Estado de México, Doctor en Educación de la Universidad de Cuautitlán Izcalli.

José Juan Contreras Espinosa: Ingeniero Mecánico Electricista de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, Maestro en Ingeniería orientación Metal Mecánica de la UNAM y Doctor en Educación de la Universidad de Cuautitlán Izcalli.





Producción del Bosón Z con correcciones de QCD

José Antonio Porras Melo, Ricardo Gaitán Lozano*, Marco Antonio Arroyo Ureña**

RESUMEN

En el desarrollo de la física de altas energías, los experimentos actuales estudian a las partículas más pesadas del modelo estándar (SM): quarks tipo bottom (b) y top (t), leptones tau (τ) y bosones débiles Z y W^\pm . En este trabajo, se presentan los resultados del cálculo de la sección eficaz a Leading order (LO) para el proceso de colisión entre dos protones con energía en centro de masas 13 TeV, con producción de un bosón Z y dos jets tipo b ($pp \rightarrow Zb\bar{b}$); se calculó también la sección eficaz en el software Madgraph5_aMC@NLO; y se discuten los resultados con los obtenidos en el software CalcHEP y en el experimento CMS, en LHC.

ABSTRACT

Within high-energy physics, current experiments study the heaviest particles from Standard model (SM); quarks bottom (b) and top (t), tau leptons (τ) and weak bosons Z, W^\pm . We have calculated the production cross-section of a proton-proton collision into a Z gauge boson plus two b-jets at a center-of-mass-energy 13 TeVs at Leading Order (LO) ($pp \rightarrow Zb\bar{b}$); we've also computed the cross-section using Madgraph5_aMC@NLO; the results have been discussed with thus obtained in CalcHEP and in the CMS experiment, at LHC.

Palabras claves: Z boson, Cross-section, leading order, Madgraph.

INTRODUCCIÓN

El SM es, a la fecha, la teoría más acertada en el estudio de las interacciones cuánticas (Cordero, 2007), a escalas subatómicas existen tres interacciones fundamentales, cada una asociada a un grupo de norma, que se relacionan entre sí por el producto directo.

$$G_{SM} = SU(3)_C \otimes SU(2)_L \otimes U(1)_Y$$

Cuando el grupo de la interacción electrodébil $SU(2)_L \otimes U(1)_Y$ rompe su simetría de fase $U(1)_Y$ de forma espontánea, da lugar al grupo de la interacción electromagnética $U(1)_{EM}$ y el bosón de Higgs otorga masa a los fermiones. Todos los fermiones experimentan esta interacción, pero solo los dobletes de isospín izquierdo experimentan la interacción débil $SU(2)_L$, así como solo los tripletes de color experimentan la interacción fuerte $SU(3)_C$. Un fermión es una partícula de espín 1/2; en el SM los fermiones son los constituyentes discretos de la materia y existen en 3 familias,

cada familia consiste de un par de leptones y un par de quarks. Se clasifican como Leptones aquellos fermiones de carga entera que experimentan la interacción electrodébil; los leptones cargados (con magnitud de carga -1) son el electrón, el muon y el tau, y a cada uno le corresponde un leptón neutro (con carga 0), conocido como neutrino. En el SM los neutrinos son no masivos.

Por otro lado, se clasifican como Quarks, los fermiones con magnitud de carga fraccionaria que experimentan tanto la interacción electrodébil como la fuerte; los sabores de quarks son down, strange, bottom (con magnitud de carga $-1/3$, respecto de la carga del electrón) y up, charm, top (con magnitud de carga $+2/3$, respecto de la carga del electrón). A diferencia de los leptones, los quarks son tripletes de color, por esta razón, solo se les encuentra confinados en Hadrones.

$$\begin{array}{ccc} I & II & III \\ \begin{pmatrix} e^- \\ \nu_e \end{pmatrix}_L & \begin{pmatrix} \mu^- \\ \nu_\mu \end{pmatrix}_L & \begin{pmatrix} \tau^- \\ \nu_\tau \end{pmatrix}_L \\ \begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix}_L & \begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix}_L & \begin{pmatrix} t \\ b \end{pmatrix}_L \end{array}$$

Fig. 1- Fermiones del Modelo estándar

Los bosones permiten la interacción entre los fermiones, si la interacción es de tipo EM, el bosón es un fotón γ , si es débil, el triplete de bosones Z y W^\pm y si es fuerte, un octeto de gluones g (Quigg, 2023).

La dinámica de las partículas se reduce al cálculo del ancho de desintegración Λ y a la sección eficaz de dispersión σ . Independientemente de si calculamos a Λ o σ necesitaremos evaluar los diagramas de Feynman relevantes para cada proceso y efectuar el producto entre la amplitud y el factor diferencial del espacio de fases (Griffiths, 2008).

Aquí, estudiamos el proceso de producción del boson Z con 2 jets de quarks pesados tipo b en una colisión de protones $pp \rightarrow Zb\bar{b}$ con energía en centro de masas 13 TeVs. El proceso ha sido ampliamente estudiado por experimentos como ATLAS (2022) y CMS (2022), en búsqueda de física BSM y como background de procesos importantes en el marco del SM. Hemos desarrollado el cálculo de σ para uno de los varios diagramas de quarks que contribuyen a la sección eficaz total. El diagrama es $u\bar{u} \rightarrow Zb\bar{b}$, como se muestra en la figura 2.

*CIT, FES Cuautitlán, UNAM. jp.porras08.ap@gmail.com
regaitan@gmail.com

**CIIEC & FCFM-BUAP. marcofis@yahoo.com.mx

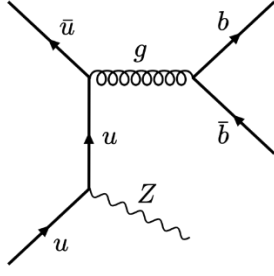


Figura 2.- Diagrama del proceso

SECCIÓN EFICAZ

Para obtener a σ , calculamos la relación cinemática de los cuadrimentos p_i , la amplitud $|A|^2$ y la integral en el espacio de fases Φ_n (PDG, 2022).

$$d\sigma = \frac{(2\pi)^4 |A|^2}{4\sqrt{(q_1 \cdot q_2)^2 - m_{q_1}^2 m_{q_2}^2}} \times d\Phi_n(p_1 + p_2; p_3, \dots, p_n + 2) \quad (1)$$

Comenzamos con el análisis cinemático para obtener la relación de los cuadrimentos, partiendo de la siguiente expresión

$$q(q_1)\bar{q}(q_2) \rightarrow b(p_1)\bar{b}(p_2)Z(k) \quad (2)$$

donde las etiquetas entre paréntesis corresponden a los cuadrimentos de cada partícula. Si, además, sabemos que

$$q_1 + q_2 = CM(E_{CM}, \vec{0}) \quad (3)$$

donde E_{CM} es el valor de la energía en el centro de masas. Siguiendo las operaciones adecuadas, la relación de los cuadrimentos queda como

$$\begin{aligned} (q_1 \cdot q_2) &= \frac{1}{4}E_{CM}^2 \\ (q_1 \cdot p_1) &= (q_2 \cdot p_1) = \frac{1}{2}E_{CM}E_1 \\ (q_1 \cdot p_2) &= (q_2 \cdot p_2) = \frac{1}{2}E_{CM}\left(\frac{1}{2}E_{CM} - E_k - E_1\right) \\ (q_1 \cdot k) &= (q_2 \cdot k) = \frac{1}{2}E_{CM}E_k \\ (p_1 \cdot p_2) &= \frac{1}{2}\left(\frac{1}{2}E_{CM}^2 + M^2 - 2m^2 - 2E_{CM}E_k\right) \\ (p_1 \cdot k) &= \frac{1}{2}\left(2E_{CM}E_k + 2E_{CM}E_1 - \frac{1}{2}E_{CM}^2 - M^2\right) \\ (p_2 \cdot k) &= \frac{1}{2}\left(\frac{1}{2}E_{CM}^2 - M^2 - 2E_{CM}E_1\right) \end{aligned} \quad (4)$$

Estas relaciones las sustituiremos más adelante en la amplitud, pero antes, tomemos la amplitud A

$$A = ig_s^2 \frac{g_w}{\cos\theta_w} \epsilon_{\mu\nu}^*(k) \frac{g_{\nu\rho}}{(p_1 + p_2)^2} \bar{u}_b \gamma^\rho v_t T_{ij}^a T_{kl}^a \left[\bar{v}_q \gamma^\nu \frac{\not{q}_1 - \not{k}}{(q_1 - k)^2} \gamma^\mu (g_V^q + g_A^q \gamma_5) u_q \right] \quad (5)$$

de la literatura (Cordero, 2007), y calculemos, apoyándonos del software FeynCalc, Mathematica, a $|A|^2$

$$\begin{aligned} \Sigma|A|^2 &= \frac{4\sqrt{2}G_F g_s^4}{9(p_1 + p_2)^4 (q_1 - k)^4} (g_V^q + g_A^q) \\ &\quad \left\{ [-4(k \cdot q_1)^2 + k^4 + 4k^2(k \cdot q_1)] \right. \\ &\quad \left. [m^2(q_1 \cdot q_2) + (p_1 \cdot q_2)(p_2 \cdot q_1) + (p_1 \cdot q_1)(p_2 \cdot q_2) \right. \\ &\quad \left. - 4k^2(k \cdot q_1) \right. \\ &\quad \left. [(k \cdot p_2)(p_1 \cdot q_2) + (k \cdot p_1)(p_2 \cdot q_2) + m^2(k \cdot q_2)] \right\} \quad (6) \end{aligned}$$

Aquí sustituimos a las relaciones en (4) y la amplitud es entonces

$$\begin{aligned} \Sigma|A|^2 &= \frac{8\sqrt{2}g_s^4 G_F E_{CM}^2}{9(E_{CM}^2 - 4E_{CM}E_k + 2M^2)^2 (M^2 - E_{CM}E_k)^2} (g_V^q + g_A^q) \\ &\quad \left\{ 2E_1[2E_1 - (E_{CM} - 2E_k)][E_{CM}E_k^2 + 2M^2E_{CM}E_k - M^4] \right. \\ &\quad \left. + M^2E_{CM}E_k - 2E_{CM}E_k^2(m^2 + 3M^2) - 4M^4E_k^2 + 2m^2M^4 \right. \\ &\quad \left. + 2M^2E_{CM}E_k(4E_k^2 + 2m^2 + M^2) - 8E_k^2M^2m^2 \right\} \quad (7) \end{aligned}$$

Para calcular a $d\sigma$, siguiendo la ec. (1), falta solo efectuar la integral en el espacio de fases, inicialmente, esta integral dependerá de E_1, E_2, E_k

$$\Phi_n = \frac{1}{8(2\pi)^9} \int \frac{d^3p_1}{E_1} \frac{d^3p_2}{E_2} \frac{d^3k}{E_k} \delta^0(E_{CM} - E_1 - E_2 - E_k) \delta^3(p_1 - p_2 - p_k) \quad (8)$$

pero podemos ponerla solo en términos de E_1, E_k

$$\Phi_n = \frac{dE_k}{4(2\pi)^7} \int_{p_-}^{p_+} d|p_1| \quad (9)$$

siguiendo la metodología de Griffiths (2008).

Si sustituimos los resultados anteriores en la integral diferencial de la sección eficaz

$$\frac{d\sigma}{dE_k} = \frac{1}{4E_{CM}^2(2\pi)^3} \int_{p_-}^{p_+} |A|^2 d|p_1| \quad (10)$$

donde, para $q = u$, los valores de los parámetros experimentales son

$$\begin{aligned} m &= 4,18 \text{ GeV} & M &= 91,18 \text{ GeV} \\ g_s &= 0,1184 & G_F &= 4537,21 \text{ pb} \\ g_V &= \frac{1}{2} & g_A &= \frac{1}{2} - \frac{4}{3}(0,23) \end{aligned}$$

tal que el resultado de integrar en Mathematica a $d\sigma$ respecto de E_1 , con E_k fija, es

$$\begin{aligned} \frac{\sigma}{dE_k} &= \frac{8,00413 \times 10^{-14} \sqrt{E_k^2 - 8313,79}}{(E_k - 6500,32)^2 (E_k - 3250,32)^2 (E_k - 0,639522)^2} \\ &\quad \left\{ E_k^6 - 32507E_k^5 + 2,959 \times 10^8 E_k^4 - 8,251 \times 10^{11} E_k^3 \right. \\ &\quad \left. + 4,396 \times 10^{12} E_k^2 - 6,85 \times 10^{15} E_k - 7,365 \times 10^{10} \right\} \quad (11) \end{aligned}$$

que corresponde al gráfico de la figura 2.

Observe que tendremos 3 valores de E_k para los que nuestra función en (11) diverge: 0.64 GeVs, $\frac{1}{4}E_{CM} \approx 3250$ GeVs, $\frac{1}{2}E_{CM} \approx 3250$ GeVs.

De aquí tomamos los límites de integración para la integral respecto de E_k , y el valor analítico de la sección eficaz, con energía del bosón Z entre 100 GeVs y hasta 3250.319 GeVs, corresponde a

$$\sigma = 18.0559 \text{ pb} \quad (12)$$

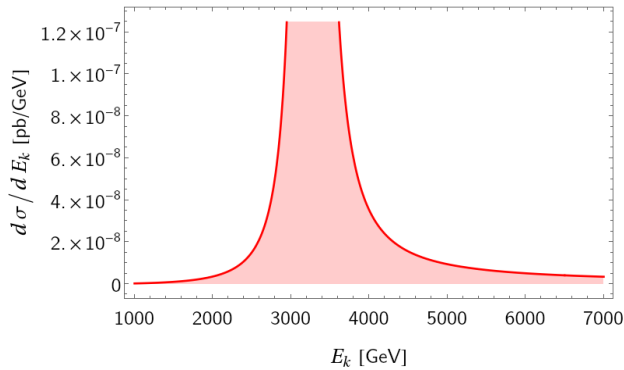


Figura 2.- $d\sigma/dE_k$

Análogamente, calculamos a σ en Madgraph5_aMC@NLO

$$\sigma = 13.51 \pm 0.043 \text{ pb} \quad (13)$$

y en CalcHEP

$$\sigma = 7.784 \pm 1.22 \text{ pb} \quad (14)$$

donde pedimos explícitamente que el valor de la energía inicial de cada quark sea 6,500 GeVs.

RESULTADOS Y ANALISIS

Retomando los resultados anteriores, la sección eficaz calculada con apoyo de FeynCalc, en Mathematica, es $\sigma=18.056 \text{ pb}$, ligeramente mayor al valor obtenido en Madgraph de $\sigma=13.51\pm 0.043 \text{ pb}$. Es el valor de CalcHEP el que más se aleja. La tabla 1 muestra la desviación estándar entre los resultados de cada programa.

Tabla 1.- Resultados

Comparando	Desviación estándar
FeynCalc - Madgraph	3.2 σ
Madgraph - CalcHEP	4.1 σ
FeynCalc - CalcHEP	7.3 σ

La diferencia que presenta σ en cada software, se debe a los límites sobre los que se integra la función y al método que se usa para normalizar a la divergencia. En nuestro caso, conforme nos alejamos de 3,250.32 en el límite superior de la integral, nuestro resultado disminuye y se asemeja más al resultado en Madgraph.

En adición, presentamos los resultados experimentales obtenidos por la colaboración CMS (2022).

Tabla 2.- Resultados CMS

Canal $q\bar{q} \rightarrow Zb\bar{b}$	Medición (σ)	Madgraph (σ)
ee	0.66	0.62
$\mu\mu$	0.65	0.64
$\tau\tau$	0.65	0.63

resultados que hemos reproducido con éxito en Madgraph, haciendo uso de los cortes cinemáticos reportados en la misma literatura. Es importante remarcar que, la sección eficaz aquí calculada es solo de uno de los varios diagramas que contribuyen a todo el proceso.

CONCLUSIÓN

Hemos calculado de forma analítica la sección eficaz del diagrama $u\bar{u} \rightarrow Zb\bar{b}$, con una desviación de 3.71σ respecto al resultado de Madgraph. El valor es de $\sigma = 18.0559 \text{ pb}$ y varía respecto de los límites de integración y las divergencias iniciales del proceso.

Un cálculo robusto de la sección eficaz total debería incluir a todos los diagramas que contribuyen a $pp \rightarrow Zb\bar{b}$, tanto de quarks como de gluones, además, es necesario aplicar cortes cinemáticos adecuados y evaluar el proceso a órdenes superiores (NNLO), con la finalidad de reproducir los resultados experimentales (Cordero, 2007). Gracias a los avances de la tecnología, los simuladores Monte Carlo (MC), como Madgraph y CalcHEP, permiten optimizar el tiempo de cómputo en el cálculo de la dinámica del SM y predecir nuevos procesos BSM.

REFERENCIAS

- [1] Armen Tumasyan et al. Measurement of the production cross section for Z+b jets in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$. Phys. Rev. D, 105(9):092014, 2022. doi: 10.1103/PhysRevD.105.092014.
- [2] ATLAS Collaboration. Measurement of cross-sections for production of a Z boson in association with a flavor-inclusive or doubly b-tagged large-radius jet in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13 \text{ TeV}$ with the ATLAS experiment. 4 2022.
- [3] Chris Quigg. Gauge theories of strong, weak, and electromagnetic interactions. CRC Press, Londres, Inglaterra, 2023.
- [4] David J Griffiths. Introduction to elementary particles. John Wiley and Sons (WIE), Brisbane, QLD, Australia, 1 edition, 2008.
- [5] Fernando Febres Cordero. Next-to-Leading-Order Corrections to Weak Boson Production with a Massive Quark Jet Pair at Hadron Colliders. Other thesis, The Florida state university, 2007.
- [6] Georges Aad et al. Measurement of the cross-section for b-jets produced in association with a Z boson at $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ with the ATLAS detector. Phys. Lett. B, 706:295–313, 2012. doi: 10.1016/j.physletb.2011.11.059.
- [7] R. L. Workman and Others. Review of Particle Physics. PTEP, 2022:083C01, 2022. doi: 10.1093/ptep/ptac097.

INFORMACIÓN ACADÉMICA

José Antonio Porras Melo: Licenciado en tecnología egresado de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM.

Dr. Ricardo Gaitán Lozano: Licenciado en Matemáticas y Física egresado de la Universidad del Tolima en Colombia. Magister en Física de la Universidad de Antioquia en Colombia. Doctor en Ciencias (Física) del Centro de Investigación y Estudios Avanzados (Cinvestav) en México. Profesor titular “C” tiempo completo *definitivo*, FES Cuautitlán, UNAM.



Dr. Marco Antonio Arroyo Ureña: Doctor en Física, egresado de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Profesor-Investigador en el Centro Interdisciplinario de Investigación y Enseñanza de la ciencia (CIEC-BUAP). Investigador Nacional Nivel I.



Diseño y análisis numérico de herramienta tipo grúa de tornillo de potencia para el desmontaje de motores de combustión interna con un peso máximo de 250Kg

Juan Carlos Pérez Partida¹, Miguel Martínez Mondragon², Itzel Montserrat Cruz Olivares³, Beatriz Romero Ángeles⁴, Guillermo Urriolagoitia Sosa⁵

RESUMEN

El diseño mecánico tiene un papel protagónico en las diferentes áreas de ingeniería, el cual cada día demanda mayores conocimientos en el desarrollo de estructuras, maquinaria y herramientas, requiriendo tener criterios de diseño mediante métodos analíticos y de evaluación numérica. El objetivo de este proyecto es evaluar analítica y numéricamente una estructura tipo grúa puente de viga con tornillo de potencia, que sea capaz de soportar una carga de 500Kg. Para el diseño se consideraron parámetros geométricos, dimensionales y propiedades mecánicas de los materiales. Para la evaluación numérica se utilizaron teorías para resolver vigas isostáticas realizando diagramas de cuerpo libre de los elementos de la grúa puente y el tornillo de potencia. El análisis numérico se realizó mediante el método de elemento finito (FEM), considerando propiedades mecánicas de los materiales como el módulo de elasticidad, densidad, coeficiente de poisson y límite elástico. Los resultados obtenidos en el diseño del puente viga son satisfactorios por el método analítico trabajando al 27% del límite elástico en comparación del 112% obtenido en el método numérico lo cual indica que bajo estas condiciones de carga el diseño de la grúa fallara, en caso contrario los resultados obtenidos por el método analítico y numérico del esparrago son satisfactorios trabajando al 3.8% y 4.1% respectivamente lo cual indica que este elemento soportara las condiciones de carga actuales.

ABSTRACT

Mechanical design plays a leading role in different areas of engineering, which every day demands greater knowledge in the development of structures, machinery, and tools, requiring design criteria through analytical and numerical evaluation methods. The objective of this project is to evaluate a structure type beam bridge crane analytically and numerically with power screw, that is capable of supporting a load of 500Kg. For the design were considered geometric parameters, dimensional and mechanical properties of materials. For the numerical evaluation, theories were used to solve isostatic beams by making free body diagrams of the elements of the bridge crane and the power screw. Numerical analysis was performed using the finite element method (FEM), Considering

mechanical properties of materials such as modulus of elasticity, density, Poisson coefficient and elastic limit. The results obtained in the design of the girder bridge are satisfactory by the analytical method working at 27% of the yield strength compared to the 112% obtained in the numerical method which indicates that under these load conditions the crane design will fail, Otherwise the results obtained by the analytical and numerical method of El screw are satisfactory working at 3.8% and 4.1% respectively, this indicates that this element will withstand the current load conditions.

Palabras claves: Diseño, Grúa, Análisis, MEF, Herramienta.

INTRODUCCIÓN

Una herramienta es un objeto fabricado que se convierte o usa como una extensión del cuerpo humano la cual permite realizar una tarea mecánica con mayor facilidad, tarea la cual sería de mayor complejidad o imposible de realizar por falta de fuerza o por los riesgos hacia el que realizara el trabajo. El diseño de máquinas y herramientas es una de las aplicaciones en las que la Ingeniería Mecánica es participe y aunque se piensa que solo es requerida en las grandes empresas la realidad es que tiene muchas aplicaciones en la vida cotidiana es por esto que este proyecto pretende apoyar a un negocio pequeño el cual para ampliar sus servicios requiere obtener nuevas herramientas que faciliten su trabajo sin dejar de lado encontrar las mejores opciones de manera económica pero sin perder de vista la seguridad; en este sentido como ingenieros debemos de adaptarnos a las necesidades y gracias al creciente desarrollo de las tecnologías que nos permiten realizar análisis numéricos mediante programas de dibujo y su posterior análisis gracias al método de elemento finito (FEM) comparado con los métodos analíticos tradicionales nos permite reducir costos en el diseño de cualquier maquina o herramienta lo cual permite a pequeñas y medianas empresas comenzar a disponer de servicios de ingeniería.

ANTECEDENTES

Se puede decir que el origen de las herramientas comienza desde la prehistoria en la edad de piedra comenzaban a usar las mismas como

* Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, "Zacatenco". Av. Othón de Mendizábal S/N, Edificio 5, 2do Piso, Col. La Escalera. Alcaldía Gustavo A. Madero, C.P. 07320, Ciudad de México, México.

jperezp1002@alumno.ipn.mx
itzelco29@gmail.com
mmartinezm1315@egresado.ipn.mx
bromero@ipn.mx
guiurri@hotmail.com





armas o herramientas, Schvab (2011), de corte así como el uso de palos o una combinación de estas y así podemos seguir viendo la evolución de las herramientas sin embarco en el siglo V a.C., siglo donde se atribuye al matemático, astrónomo y filósofo Arquitas de Tarento como inventor del tornillo, posteriormente en el siglo III a.C. el físico, inventor, astrónomo, filósofo y matemático griego Aristóteles de Siracusa es quien perfecciona este revolucionario invento y encuentra aplicaciones en la elevación de agua presentando su invento el tornillo de Arquímedes además se le atribuye el título del inventor del tornillo sin fin el cual también forma parte importante en los mecanismos de la industria moderna, Calderón (2012).

En el siglo XVI d.C. se presentaban en las armas los giratornillos que eran pequeñas herramientas para ajustar los mecanismos de las armas lo que permite ver una incongruencia que en ocasiones sucede pues en este tiempo existía una herramienta para atornillar sin que aun hubiera una definición definitiva de los tornillos pues en este siglo aun los tornillos eran solamente un clavo al que se le hacía dar dos vueltas al final para que este no se desclavara.

Es hasta el siglo XIX que un genio anónimo logra mejorar la producción de tornillos mediante el uso de máquinas dando paso al creciente uso de los tornillos como elementos de fijación y es hasta 1841 que las ingles Joseph Whitworth normaliza los pasos de rosca, Whitworth (1841).

DESARROLLO

El proyecto para diseñar y analizar una grúa tipo tornillo se desarrollara en etapas, la primer etapa consta en delimitaron las necesidades tanto del taller como de cargas que deberán considerarse, como segunda etapa se realizaron los diagramas de cuerpo libre de los elementos críticos a analizar siguiendo con el cálculo analítico de los esfuerzos debidos a las cargas así como deformaciones, en la tercer etapa se realizó el modelado de los elementos en un programa CAD, como cuarta etapa se pasaron los elementos modelados a un programa CAE para realizar su análisis mediante el método de elemento finito MEF para obtener los esfuerzos y deformaciones de manera más aproximada a las deformaciones esperadas reales para determinar si los materiales y formas de los elementos cumplen los requerimientos.

PRIMERA ETAPA

Se definió una carga de diseño de 500Kg por razones de seguridad ya que los pesos máximos que se llegan a ocupar en esta herramienta son aproximadamente de 250Kg además de que se trabajaran con materiales disponibles en el taller automotriz los cuales se componen de un PTR 3x3 cal.11 de acero A36 con una longitud $L_P=1.2m$ además de un esparrago de 1 in de diámetro de acero A36 con acabado galvanizado y una longitud $L_E=1m$ con una tuerca grado 8 de 1 in de diámetro con cuerda standard 8-24 UNC para ambos, cuyas propiedades mecánicas se encuentran en la (Tabla 1).

Tabla 1.- Propiedades Mecánicas.

Elemento	Material	Modulo Elástico (MPa)	Coficiente de Poisson	Limite Elástico (MPa)
Puente	Acero A36	200000	0.26	250
Esparrago	Acero A36	200000	0.26	250
Tuerca	AISI 4140	205000	0.29	200

SEGUNDA ETAPA

Se realizaron los diagramas de cuerpo libre de los elementos además de realizar el cálculo analítico de cada uno para determinar los esfuerzos y deformaciones, comenzando por el puente considerándolo como una viga simplemente apoyada, Beer (2021) y Peniche (2018), con una carga puntual al centro (Figura 1).

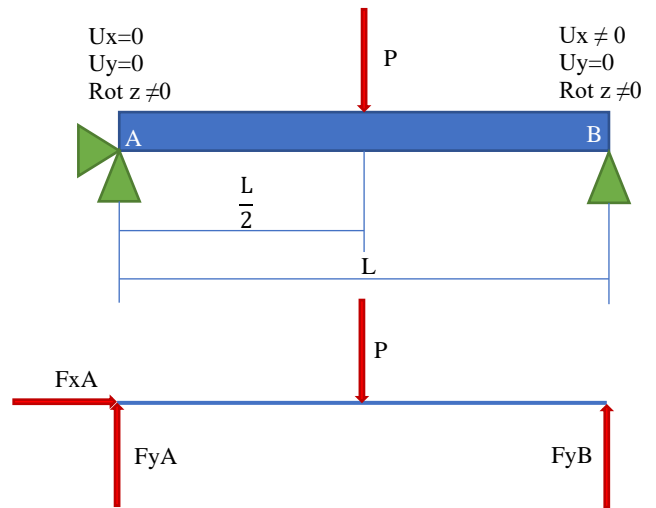


Figura 1.- Representación de carga, apoyos y condiciones de frontera de una viga simplemente apoyada.

Antes de entrar en la solución de este sistema enlistaremos datos carga y geométricos del puente que serán necesarios para la solución (Tabla 2).

Tabla 2.- Datos de Carga y Geométricos del puente.

CARGA		
P	500 kg	4905 N
PTR 3x3 cal.11		
L	1.2 m	1200 mm
$b_1=h_1$	3 in	76.2 mm
$b_2=h_2$	2.75 in	69.85 mm
I	1.984 in ⁴	825823.7432 mm



De fórmulas para vigas isostáticas [4] se tiene:

$$R_A = R_B = \frac{P}{2} \quad (1)$$

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad (2)$$

$$M_{MAX} = \frac{PL}{4} \quad (3)$$

$$y_{MAX} = \frac{PL^3}{48EI} \quad (4)$$

Y de Flechas máximas permisibles considerando una aplicación como Grúa colgada o monorriel, clase A, B o C, con carga vertical sin impacto:

$$y_{PER} = \frac{L}{450} \quad (5)$$

Los diagramas de cortante, momento flexionante y flecha del puente de PTR 3x3 cal.11 se presentan en la (Figura 2).

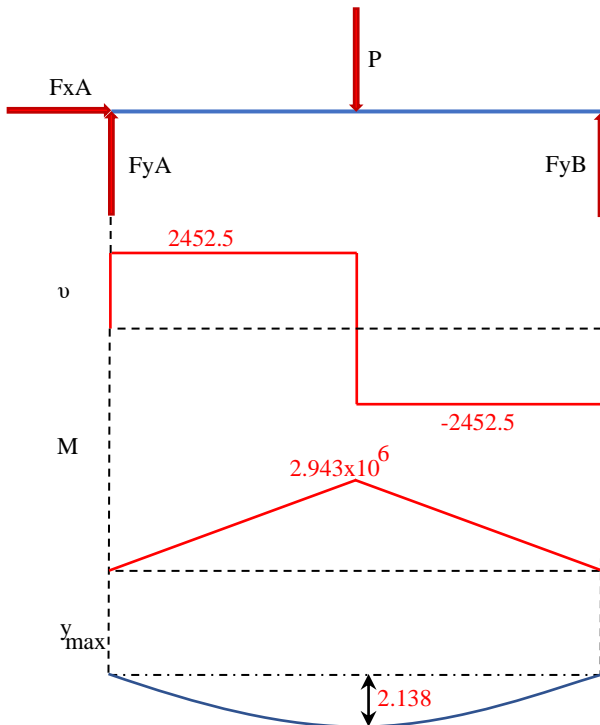


Figura 2.- Diagramas de cortante, momento flexionante y flecha.

Para el cálculo de los esfuerzos y deformaciones en el esparrago este se considerará la misma carga P (Tabla 2) y este elemento se trabajará como una barra sometida a tensión axial [4], a continuación, se presentan las características geométricas del esparrago (Tabla 3) su correspondiente diagrama de cuerpo libre (Figura 3) y las ecuaciones que se utilizarán para este elemento.

Tabla 3.- Datos Geométricos del esparrago.

Esparrago		
L	1 m	1000 mm
Ø	1 in	25.4 mm
A	0.785 in ²	506.707 mm ²

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (6)$$

$$\delta = \frac{PL}{AE} \quad (7)$$

La representación del esparrago como viga a tensión axial y diagrama de cuerpo libre se presentan en la (Figura 3).

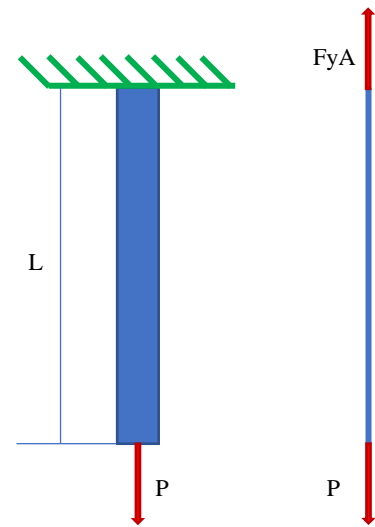


Figura 3.- Representación de carga y diagrama de cuerpo libre de columna con carga a tensión axial.

TERCER ETAPA

El modelado de las piezas y ensamblado se realizó en el programa CAD SolidWorks® considerando todas las medidas además de las roscas tanto de la tuerca como del esparrago (Figura 4).

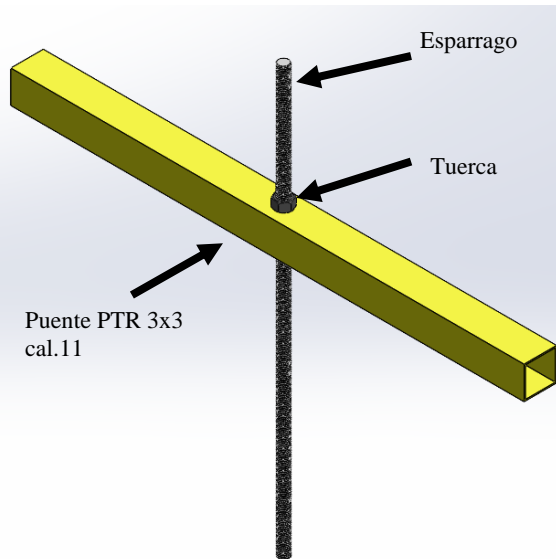


Figura 4.- Ensamblaje de piezas modeladas en SolidWorks®.

A continuación, se sometió a análisis el puente de PTR y el esparrago en un programa CAE, para este proyecto ANSYS® Workbench.

Para el caso del puente se restringirán en el punto A (Figura 1) el desplazamiento en U_x , U_y y U_z además de las rotaciones en $RotX$ y $RotZ$, en el punto B se restringirán los desplazamientos en U_y y U_z y rotaciones en $RotX$ y $RotY$ seleccionando en cada punto un área de contacto del ancho del perfil por 10 cm como bases de apoyo del puente y para la condición de carga se usará el área de contacto de $A_{CON}=281.257 \text{ mm}^2$ existente entre la perforación circular al centro del puente y la tuerca (Figura 5) ya que la tuerca será la que transmita al puente la carga que soporta el esparrago.

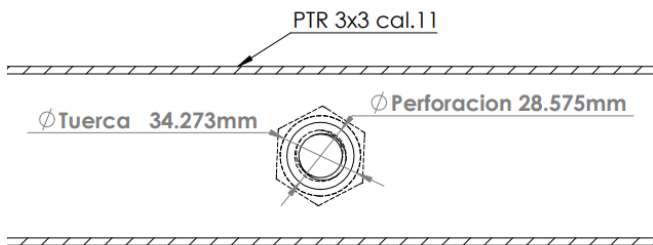


Figura 5.- Corte de pieza para determinar área de contacto entre puente y tuerca.

Los análisis numéricos realizados del puente de PTR 3x3 cal.11 fueron de deformación axial en el eje Y (Figura 6) y de esfuerzo de teoría de falla de Von Mises (Figura 7).

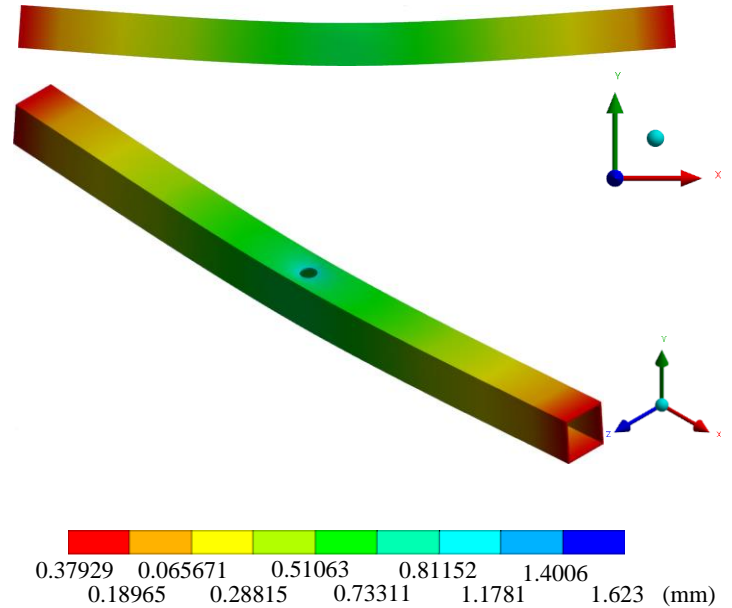


Figura 6.- Análisis de deformación axial en el eje Y de viga puente.

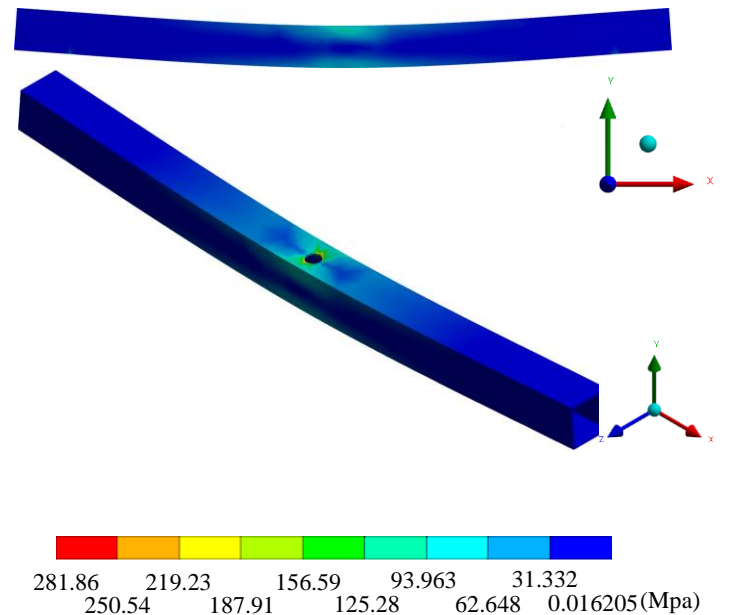


Figura 7.- Análisis de esfuerzo de teoría de falla de Von Mises de viga puente.



Los análisis numéricos realizados a el esparrago en forma simplificada de barra fueron de deformación axial en el eje Y (Figura 8) y de esfuerzo de teoría de falla de Von Mises (Figura 9).

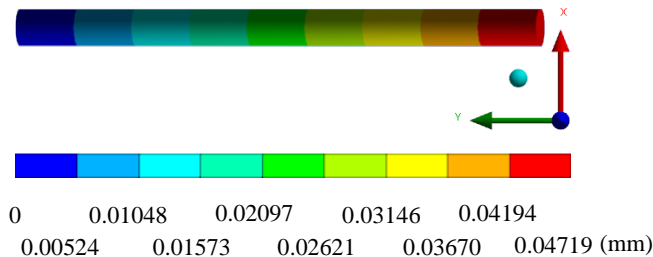


Figura 8.- Análisis de deformación axial en el eje Y de esparrago.

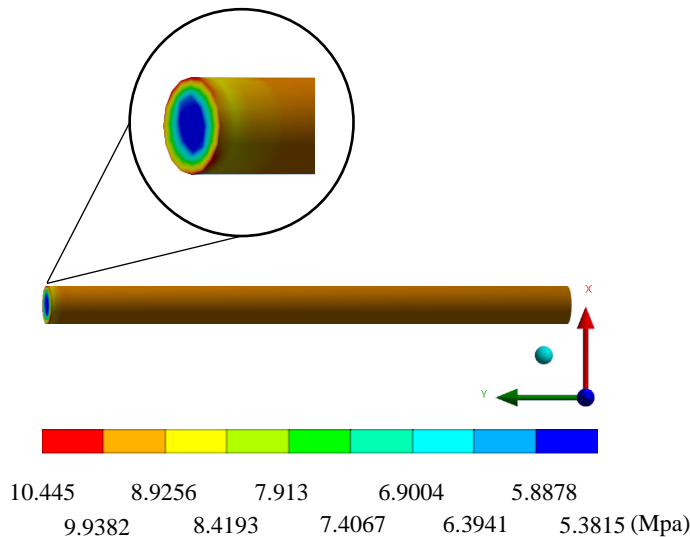


Figura 9.- Análisis de esfuerzo de teoría de falla de Von Mises de esparrago.

RESULTADOS

Se presentan los resultados de los métodos analíticos y numérico del puente viga (Tabla 4) y los resultados de los métodos analítico y numérico del esparrago (Tabla 5).

Tabla 4.- Resultados de cálculos y análisis de viga simplemente apoyada.

	Método analítico	Método numérico
$R_A=R_B$	2452.5 N	
σ	67.888 MPa	281.86 MPa
M_{MAX}	1.471×10^6 N-mm	
y_{MAX}	1.069 mm	1.623 mm
y_{PER}	2.666 mm	

Tabla 5.- Resultados de cálculos y análisis de esparrago a tensión axial.

	Método analítico	Método numérico
σ	9.680 MPa	10.445 MPa
δ	0.056 mm	0.04719 mm

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos por medio del método analítico en el cálculo de la viga puente muestra que este elemento soportara la carga de 250Kg ya que está trabajando a un 27.15% del límite elástico y tiene una flecha de deflexión por debajo de la flecha permisible por lo que este cálculo es satisfactorio sin embargo los resultados del método numérico arroja zonas que se encuentran trabajando al 112.74% del límite elástico lo que indica que este elemento fallara en la zona donde pasa el esparrago en este rango de carga aunque la flecha de deflexión se encuentre por debajo de la flecha permisible, cabe mencionar que no podemos hacer una comparación completamente satisfactoria ya que el método analítico trabaja con un elemento en 2D y el método numérico se realizó en un elemento 3D.

Los resultados obtenidos tanto por el método analítico y numérico en el esparrago son muy similares, observamos que este está trabajando a un 3.87% y 4.17% del límite elástico respectivamente y en ambos casos la elongación es menor al decimo de milímetro, demostrando que este elemento trabajara de manera correcta bajo estas condiciones de carga sin embargo se deberían hacer más análisis respecto a condiciones de desgaste por rozamiento de las cuerdas.

En general el diseño de esta herramienta es satisfactorio puesto que las zonas que se encuentran trabajando sobre el límite elástico son muy pequeñas y la carga a la cual fue sometido el análisis fue una carga con un factor de seguridad de 1.5 puesto que la grúa puente está diseñada para ayudar a la labor de desmontar motores o transmisiones de un peso aproximado de 150Kg.

DISCUSION

El presente trabajo se realizó para un pequeño taller automotriz el cual por crecimiento necesita realizar trabajos fuera de su zona en áreas con superficies desniveladas en las que no puede hacer uso de grúas tipo pluma, además para reducir los costos en compra de materiales el taller puso a disposición el material que tenía como desperdicios o chatarra lo cual condiciono las características geométricas del proyecto.

Con los resultados obtenidos se propones mejoras en el diseño siguiendo con las condicionantes económicas se planteó el uso de refuerzos en la parte central del puente viga ya sea internamente con un tubo del mismo diámetro de la perforación que una ambos extremos o de forma exterior con el uso de una placa perforada que aumente el espesor del perfil en la zona con mayores esfuerzos.



AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto Politécnico Nacional y al Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnologías por su apoyo a esta investigación

NOMENCLATURA

A = Área
E = Modulo elástico
I = Momento de inercia
 L_E = Longitud de esparrago
 L_p = Longitud de viga puente
 M_{MAX} = Momento máximo
P = Carga
 R_A = Reacción en el punto A
 R_B = Reacción en el punto B
 y_{MAX} = Flecha o deflexión máxima
 y_{PER} = Flecha o deflexión permisible
 δ = deformación axial
 \emptyset = Diámetro
 σ = Esfuerzo

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

Beer, F. P., Johnston, E. R., Dewolf, J. T., & Mazurek, D. F. (2021). Mecánica de materiales. McGraw-Hill Interamericana, Sexta edición, pp.264-312 y pp.42-8.

Calderón, W. F. (2012). Entre la mentira y la verdad pitagórica: el caso de Arquitas de Tarento. Hybris: revista de filosofía, 3(2), 46-74.

Peniche Reynoso, J. R., & PENICHE REYNOSO, J. R. (2018). Análisis y diseño de estructuras de acero para el soporte de grúas viajeras (Master's thesis).

Schvab, L. (2011). Máquinas y herramientas. Ministerio de educación Instituto Nacional de Educación Tecnológica: Argentina.

Whitworth, J. (1841). ON AN UNIFORM SYSTEM OF SCREW THREADS. In Minutes of the Proceedings of the Institution of Civil Engineers (Vol. 1, No. 1841, pp. 157-160). Thomas Telford-ICE Virtual Library.

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Pérez Partida Juan Carlos: Estudiante de Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica unidad Adolfo López Mateos “Zacatenco” en el Instituto Politécnico Nacional.

Pasante de Ingeniería Mecánica egresado de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica unidad Azcapotzalco del Instituto Politécnico Nacional.

Martínez Mondragon Miguel: Estudiante de Doctorado en Ciencias en Ingeniería Mecánica en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica unidad Adolfo López Mateos “Zacatenco” en el Instituto Politécnico Nacional.

Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica unidad Adolfo López Mateos “Zacatenco” en el Instituto Politécnico Nacional.

Ingeniero Mecánica egresado de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica unidad Azcapotzalco del Instituto Politécnico Nacional.

Itzel Montserrat Cruz Olivares: Estudiante de Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica unidad Adolfo López Mateos “Zacatenco” en el Instituto Politécnico Nacional.

Pasante de Ingeniería Mecánica egresada de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica unidad Azcapotzalco del Instituto Politécnico Nacional.

Beatriz Romero Ángeles: Doctorado en Ciencias en Ingeniería Mecánica en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica unidad Adolfo López Mateos “Zacatenco” en el Instituto Politécnico Nacional.

Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica unidad Adolfo López Mateos “Zacatenco” en el Instituto Politécnico Nacional.

Ingeniero Mecánico egresada de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica unidad Adolfo López Mateos “Zacatenco” del Instituto Politécnico Nacional.

Actualmente Profesor Investigador de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica unidad Adolfo López Mateos “Zacatenco” en el Instituto Politécnico Nacional.

Guillermo Urriolagoitia Sosa: Doctorado en Filosofía Egresado de la Universidad de Oxford Inglaterra.

Maestría en Ciencias Egresado de la Universidad de Oxford Inglaterra.

Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica con especialidad en Diseño Mecánico en la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional.

Ingeniero Mecánico egresado de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Unidad Adolfo López Mateos “Zacatenco” del Instituto Politécnico Nacional.

Actualmente Profesor Investigador de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional.





Óptica: una mirada al universo

Pedro Guzmán Tinajero*, Rodrigo Carrillo Ramírez, Víctor Hugo Hernández Gómez***, Aide Castro Fuentes******

RESUMEN

El presente artículo relata las experiencias de los autores en el uso de los telescopios amateurs modernos para mirar el universo, sin perder de vista la parte académica, se complementa con conceptos de óptica, lo que brinda a los estudiantes un enfoque diferente, fresco y apasionante de conceptos como: reflexión, refracción, concavidades, lentes y punto focal entre otros temas.

Teniendo como objetivo central mostrar a los alumnos y alumnas, con ejemplos prácticos, algunos de los conceptos que observan en la asignatura de óptica, este trabajo los llevará a bellas imágenes del universo captadas por estos telescopios que permiten un vistazo a la realidad que poco a poco se encuentra al alcance de más personas no especializadas.

ABSTRACT

This article reports the experiences of the authors in the use modern amateur telescopes to look at the universe, without losing sight of the academic part, it is complemented with concepts of optics, which provides students with a different, fresh and exciting approach to concepts such as: reflection, refraction, concavities, lenses and focal point among other topics.

With the main objective of showing students, with practical examples, some of the concepts they observe in the optics subject, this work will lead them to beautiful images of the universe captured by these telescopes, which, allow a look at the reality that little by little is within the reach of more non-specialized people

Palabras clave: Electromagnetismo, Óptica, Teoría Electromagnética, Telescopio, Universo.

INTRODUCCIÓN

La materia de óptica en las carreras de Ingeniería es sin duda uno de los pilares necesarios para que los futuros egresados conozcan los principios básicos de la emisión, propagación, transmisión,

utilización y aprovechamiento de las ondas, tanto mecánicas como electromagnéticas.

Sin embargo, en los últimos años esta materia ha cobrado relevancia, en un principio, por algo tan terrible como la pandemia de COVID 19 y posterior a ella por la búsqueda de la conquista espacial, como una opción para aprovechar los recursos que poco a poco se agotan en nuestro planeta.

Aunque la Real Academia Española (2023), define la óptica como: “Parte de la física que estudia las leyes y los fenómenos de la luz.” Sin duda alguna es algo más que eso, ya que en su estudio también podemos observar el comportamiento de ondas mecánicas como el sonido y la conformación de diferentes tipos de lentes y sus efectos.

En este artículo mostraremos algunas experiencias de los autores, complementadas por bellas imágenes del universo que se encuentra sobre nosotros todos los días y del cual solo es necesario levantar la cabeza en una noche despejada para observarlo.

ANTECEDENTES

En diciembre de 2019 en la región de Wuhan, China estalló lo que sería una de las últimas pandemias originada por una mutación del Coronavirus: el SARS-COV2 lo que generó la enfermedad que se conoció como COVID 19.

En un artículo publicado por la BBC News, el 5 de mayo de 2022, las muertes por COVID 19 habían alcanzado casi 15 millones de personas, 14.9 millones para ser exactos, lo que superaba por mucho los 6.2 millones que se habían anunciado inicialmente. (BBC News, 2022) estos datos no solo impactaron en nuestros profesores y alumnos de manera estadística, también lo hicieron en forma anímica.

Si al grave problema de las epidemias y pandemias agregamos: el calentamiento global, que en 2023 se ha sentido con mayor fuerza en nuestro Territorio Mexicano, manifestándose sobre todo en la

**Dr. Pedro Guzmán Tinajero. Departamento de Física. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM. Carretera Cuautitlán-Teoloyucan km 2.5, Cuautitlán Izcalli, Estado de México. Correo electrónico: pguzmant@cuautitlan.unam.mx,

* Dr. Rodrigo Carrillo Ramírez. Teradyne Inc. North Reading, Massachusetts, United States. Dirección de. Correo electrónico: rod.carr01@gmail.com

*** Dr. Víctor Hugo Hernández Gómez. Departamento de Ingeniería. Laboratorio de Investigación en energías

Renovables – UIM. FESC. Correo electrónico: vichugo@unam.mx.

**** Ing. Aide Castro Fuentes. Departamento de Física. Correo Electrónico: imefuentes@hotmail.com





escasez de agua potable, la contaminación, los conflictos bélicos y sobre todo la indiferencia de muchas naciones de tomar las medidas adecuadas, observamos un futuro poco atractivo para las nuevas generaciones.

Sin embargo, no todo es oscuro en el futuro, la pandemia también reforzó la necesidad de un incremento en las telecomunicaciones, de acuerdo a la UPAEP (2020) tan solo en México se incrementó un 50% más el tráfico de datos, considerando la cohorte desde el inicio de la pandemia en marzo de 2020 al mes de octubre del mismo año. Derivado principalmente de las clases en línea y del Home Office.

Estos problemas abrieron nichos de mercado para los ingenieros e ingenieras mexicanas, pues se incrementó el uso de dispositivos a distancia como los termómetros infrarrojos, así como se fortaleció el uso de plataformas para el esparcimiento, creciendo en la misma proporción.

Para el caso de la UNAM y específicamente en el Campus de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC), se estableció todo un proceso de reingeniería desde los profesores hacia los alumnos. De la noche a la mañana se tuvo la necesidad de cambiar el pizarrón del aula de clases por plataformas virtuales síncronas y asíncronas.

La FESC nació un 22 de abril de 1974 como el primer campus descentralizado de la Ciudad Universitaria de la UNAM, actualmente cuenta con 18 carreras de licenciatura (una de ellas a distancia) y su atención es matricial, es decir un departamento académico puede atender a diferentes carreras.

De acuerdo a los planes y programas aprobados por la Dirección General de Administración Escolar (DGAE, 2023) La asignatura de óptica se imparte en la FESC en solo 2 carreras: Ingeniería en Telecomunicaciones Sistemas y Electrónica (ITSE) con clave 1420 y nombre óptica y acústica y en la Licenciatura en Tecnología con clave 0071 y nombre óptica. Anteriormente también se impartía en Ingeniería Mecánica Electricista (IME) en su plan de 1993 con clave: 1404 y nombre óptica, pero fue retirada, erróneamente a consideración de los autores, del plan curricular en su cambio en 2012, Ver Figura 1

[0111] - F.E.S. CUAUTITLAN (INGENIERIA)		
1404	OPTICA (I)	08
1420	OPTICA Y ACUSTICA	10
[0195] - F.E.S. CUAUTITLAN (TECNOLOGIA)		
0071	OPTICA	10

Figura 1.- Carreras de la FESC donde se imparte óptica
Fuente: DGAE (2023)

El Departamento de Física atiende nueve carreras, entre ellas varias ingenierías como ITSE y licenciaturas como la de Tecnología, para ello se han conformado claustros académicos, formados por profesores de carrera y asignatura. Entre las funciones del Claustro está la de la actualización de prácticas de laboratorio, pero tuvimos

un gran problema: ¿Cómo llevar el laboratorio a casa de nuestros estudiantes?

La respuesta fue buscar nuevos experimentos que se pudieran llevar a cabo desde casa en forma segura, recuperar a los egresados para motivar a nuestros alumnos y alumnas a seguir adelante y no caer en la depresión y el fatalismo. Que inminentemente los llevaban a la deserción.

DESARROLLO

En un primer paso, el Claustro de Óptica trabajó las prácticas que se desarrollaban en el laboratorio y las reestructuró con elementos que los alumnos pudieran tener en casa (recordemos que inicios de la pandemia no existía la posibilidad de salir a adquirir material de apoyo).

Para reforzar el conocimiento se hizo uso de programas de licencia libre, páginas de Universidades hermanas con simuladores, videos de los profesores integrantes del claustro para explicar de mejor manera los fenómenos. Y es allí dónde observamos otra área de oportunidad para frenar la deserción: Entrevistar a nuestros Egresados y subir las entrevistas a la plataforma de You Tube, (Alumnos del Doctor Pedro, 2021). Uno de los profesores integrantes del claustro de Óptica tuvo el acierto de entrevistar al Dr. Rodrigo Carrillo Ramírez, abriendo un abanico de posibilidades Ver figura 2.



Entrevista al Doctor Rodrigo Carrillo: La UNAM cuna de oportunidades

381 vistas • hace 1 año

Figura 2.- Entrevista al Dr. Rodrigo Carrillo Ramírez
Fuente: Dr. Pedro Guzmán Tinajero

Como resultado de la entrevista y la buena respuesta que generó sobre todo en los alumnos de ITSE, se decidió continuar por el camino de mostrar la asignatura de óptica de una manera práctica y tangible.

Inicialmente se procedió a revisar el programa, específicamente de la asignatura de óptica y acústica impartida en la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones Sistemas y Electrónica (ITSE)



con clave 1420. Esta información es de consulta libre en la página de la Facultad (FESC, 2023).

En el contenido programático de la asignatura 1420 (ubicada en el cuarto semestre de la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones Sistemas y electrónica) se puede destacar el siguiente contenido. Ver Figura 3.

INDICE TEMÁTICO			
UNIDAD	TEMAS	Horas Teóricas	Horas Prácticas
1	Naturaleza de la Luz	7	2
2	Principios y Fundamentos de la Óptica	8	4
3	Óptica Geométrica	8	4
4	Óptica Física	8	4
5	Efectos Fotoeléctricos y Electro Ópticos	8	4
6	Naturaleza del Sonido	8	4
7	Principios y Fundamentos de la Acústica	8	6
8	Transmisión de Sonido	9	4
Total de Horas		64	32
Suma Total de las Horas		96	

Figura 3.- Contenido programático de la Asignatura de Óptica y Acústica
Fuente: FESC

En el tema 3 de Óptica Geométrica se puede encontrar un nicho de oportunidad para atraer a los alumnos y alumnas de ingeniería de la carrera de ITSE, a la búsqueda del conocimiento en lo que se refiere a la colonización de otros planetas. Ver Figura 4.

3. ÓPTICA GEOMÉTRICA

- 3.1. Condiciones de frontera.
- 3.2. Reflexión de ondas planas que inciden normalmente en un medio: coeficientes de reflexión y transmisión, ondas estacionarias, relación de onda estacionaria (S.W.R), coeficiente de reflexión generalizado, impedancia de entrada.
- 3.3. Incidencia normal en varios dieléctricos colocados paralelamente: métodos de análisis, técnicas para evitar reflexiones (ventana dieléctrica de 2 y de 4 capas).
- 3.4. Prismas reflectores y refractores.
- 3.5. Fibras ópticas.
- 3.6. Instrumentos ópticos.

Figura 4.- Contenido del tema 3 de la asignatura de Óptica y Acústica
Fuente: FESC

Considerando que los alumnos y alumnas no podían salir de su casa durante la pandemia, pero al mismo tiempo para motivarlos a continuar en su licenciatura el Dr. Rodrigo Carrillo Ramírez propuso tomar algunas imágenes con los telescopios y brindar así la oportunidad a los estudiantes de ver de manera directa la aplicación de los instrumentos ópticos.

Los profesores coautores de este artículo, observaron en esta acción de apoyo de nuestro egresado, una gran oportunidad para transmitir el conocimiento a los alumnos de una manera práctica y divertida. Además de que permitió mostrarles la realidad fuera de la pandemia. Así que, en septiembre de 2021, comenzó el trabajo para recabar las imágenes y apoyarlas con la teoría establecida para hacerla más interesante. Ver Figura 5



Figura 5.- Colocación del telescopio de 8 pulgadas
Fuente: Dr. Rodrigo Carrillo

El Doctor Carrillo tomó inicialmente unas bellas imágenes de nuestro Satélite natural, y con excelentes aproximaciones nos compartió imágenes como la que se aprecia en la Figura 6.



Figura 6.- La Luna
Fuente: Dr. Rodrigo Carrillo

Todo lo anterior nos motivó a continuar por este sendero, y en conjunto observamos imágenes como la que se aprecia en las figuras



7, 8 y 9. Estas imágenes motivaron a los alumnos a desarrollar una investigación más a profundidad de los cuerpos celestes.



Figura 7.- Las Cabrillas (Pleiades)
Fuente: Dr. Rodrigo Carrillo



Figura 8.- Júpiter
Fuente: Dr. Rodrigo Carrillo

Los alumnos de ITSE resultaron muy interesados en como la ingeniería y la astronomía están conectados a través de la óptica y de los diferentes instrumentos que se utilizan para apreciar lo que siempre tenemos frente a nosotros, pero que raras veces nos detenemos a contemplar.

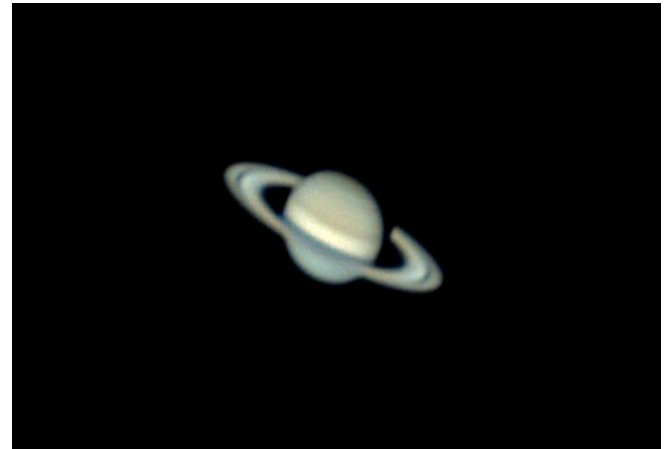


Figura 9.- Saturno
Fuente: Dr. Rodrigo Carrillo

También tuvimos la oportunidad de compartir la vista de la Galaxia Whirlpool, también llamada Galaxia Remolino u Objeto Messier 51. Que fue descubierta por Charles Messier en el año 1773. Algunos la describen como M51A junto a su fiel compañera M51B. Ver Figura 10.



Figura 10.- Galaxias M51A y M51B
Fuente: Dr. Rodrigo Carrillo

Es importante hacer notar que decidimos complementar las prácticas de laboratorio con algunos trabajos motivados por estas imágenes, relacionando fenómenos como la reflexión que realiza la luna a la luz solar. Los efectos de los filtros y los polarizadores en los telescopios, así como principios de enfoque y lentes, muy necesarios para alcanzar los objetos distantes con la mejor calidad de imagen permitida por los instrumentos ópticos.

En algunas ocasiones los propios alumnos y alumnas nos sorprendieron fabricando sus propios telescopios con lo que tenían



a la mano (recordemos que no todos tenían recursos derivado de la gran cantidad de despidos que motivó la pandemia).

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Reunir las bellas imágenes que nos proporcionó el Dr. Rodrigo, egresado con honores de la carrera de IME de nuestra Facultad no solo fue un deleite para nosotros, también lo fue para nuestros alumnos de laboratorio de Óptica, pues de una manera sencilla lograron ver algunas aplicaciones y alcances de los instrumentos ópticos.

Cabe resaltar que este trabajo ayudó a la mejor comprensión de los principios y fundamentos de la óptica, mejoró la asistencia de los alumnos (pues muchos ya no se conectaban por perder el interés de las clases a distancia), impactó favorablemente, incluso en el estado de ánimo de los alumnos que percibían una alternativa a los problemas mencionados en nuestro planeta como el calentamiento global. Y en el área de ingeniería motivó el uso del ingenio, parte medular de la ingeniería.

Finalmente, y no menos importante, este trabajo nos permitió hacer uso de uno de nuestros mejores recursos: Nuestros egresados. Permitiendo soñar a nuestros alumnos actuales a alcanzar ser como ellos, (ya que hubo más entrevistas con egresados, este es solo uno de muchos ejemplos), soñar con la colonización espacial, y recalcamos ese verbo: soñar, así como aquel sueño que nuestra generación percibía con los vuelos espaciales y las telecomunicaciones que ahora son toda una realidad.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

Real Academia de la Lengua Española (2023). [Fecha consulta: 14/05/2023]. Tomado de: <https://dle.rae.es/optico>

BBC News (2022). [Fecha consulta: 14/06/2023]. Tomado de: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-61333739>

UPAEP (2020). [Fecha consulta: 14/06/2023]. Tomado de: <https://historioupres.upaep.mx/index.php/opinion/editoriales/innovacion-y-tecnologia/6679-las-telecomunicaciones-en-tiempos-de-pandemia>

DGAE (2023). [Fecha consulta: 14/06/2023]. Tomado de: <https://www.dgae-siae.unam.mx/educacion/asignaturas.php?ref=asgxfm&asg=&plt=111&nomb=optica>

Alumnos del Doctor Pedro (2021). [Fecha consulta: 14/06/2023] Tomado de: <https://youtu.be/ZOWYiJAwWH8>

FESC (2023). [Fecha consulta: 14/06/2023] Tomado de: https://www.cuautitlan.unam.mx/licenciaturas/itse/descargas/OPTICA_ACUSTICA.pdf

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Pedro Guzmán Tinajero. Doctor en Gestión Tecnológica e Innovación. Responsable del Claustro de Teoría Electromagnética del Departamento de Física de la FES Cuautitlán, Consejero Técnico Propietario del Departamento de Física y Profesor de Carrera Titular A Definitivo del Departamento de Física de la FES Cuautitlán.

Rodrigo Carrillo Ramírez. Doctor en Ingeniería de Microondas, por la Universidad de Massachusetts Amherst. Actualmente trabaja en Teradyne Inc. Como Senior Engineering Manager. Cuenta con 6 patentes en el área de semiconductores y 15 artículos científicos. Egresado orgullosamente de la FESC

Aide Castro Fuentes. Ingeniera Mecánica Electricista. Miembro del Claustro de Teoría Electromagnética del Departamento de Física de la FES Cuautitlán de la UNAM.

Víctor Hugo Hernández Gómez. Doctor en Ingeniería. Responsable del Laboratorio en Energías Renovables de la FES Cuautitlán. Profesor de carrera Titular B Definitivo del Departamento de Ingeniería de la FES Cuautitlán.



Sistema de reproducción sustentable

Dámaris Carmen García García¹, Cintia Elí Hernández García², Miroslava Carolina Pérez Barreto³

RESUMEN

El Proyecto "Acuaworm", es una iniciativa promovida en la División de Ingeniería en Nanotecnología de la Universidad Politécnica del Valle de México (UPVM).

Este proyecto pretende dar respuesta a los múltiples requerimientos de sistemas de producción sostenible de plantas y cría de especies acuáticas para consumo humano; que se desarrollen en un medio ambiente simbiótico que afronte el futuro de la sociedad, se requiere de soluciones, estrategias y diseño de sistemas que optimicen su aplicación, teniendo en cuenta que como primera medida de recuperación de un entorno sano, se necesita la colaboración y participación activa de las entidades que conforman la sociedad, unidades gubernamentales, y universidades para el desarrollo de propuestas de valor que sean aplicables al entorno local y nacional.

Tres organismos están involucrados en el rendimiento óptimo de los sistemas acuapónicos: plantas, especies acuáticas y bacterias nitrificadoras, el presente trabajo incluye una cuarta actividad conocida como lombricultura, que es una biotecnología que utiliza, a una especie de lombriz, como una herramienta de trabajo, ya que recicla todo tipo de materia orgánica obteniendo como fruto de este trabajo humus, carne y lixiviado. Se trata de una atractiva actividad zootécnica, que permite afinar todos los sistemas de producción agrícola y es un negocio en expansión que se proyecta en un futuro como el medio más rápido y eficiente para la recuperación de suelos de las zonas rurales.

El Proyecto tiene como finalidad generar un biotipo sustentable, como primera etapa con la creación de una Cámara climática para crecimiento controlado de diversas especies que permita un entorno adecuado para su supervivencia.(biotopo)

En una segunda etapa, se contempla un laboratorio larvario con la reproducción y cría con la especie *Eisenia Foetida* (lombriz roja californiana) para la obtención de materia prima (pellet) en la etapa final. Así como productos alternos generados de éste laboratorio larvario (humus y lixiviado como fertilizante). En paralelo, la siembra y cosecha de lechuga baby hidropónica como parte del

biotipo sustentable para la alimentación de la lombriz, al igual que la reproducción y cría de Acociles (*Procambarus acanthophorus*) especie endémica de México para la obtención de materia prima (pellet) en la etapa final. Así como productos alternos como venta en pie y procesada.

En una tercera etapa, se contempla la elaboración de un pellet con la lombriz y el exoesqueleto de los acociles como una alternativa de alimento para especies terrestres y/o suplemento alimenticio.

Por ello, una iniciativa de esta naturaleza no sólo supone ampliar las oportunidades formativas de los alumnos, sino que, además, fomenta la consolidación de espacios institucionales y sociales con una dimensión intercultural, y adquiere una importancia estratégica en la parte medular de la educación al involucrar a los estudiantes en la creación de escenarios reales dentro de la misma institución, donde se verán reflejados la aplicación de conocimientos y el resultado de estos.

Palabras claves: Sistema, Reproducción, Sustentable

ABSTRACT

The "Acuaworm" Project is an initiative promoted by the Nanotechnology Engineering Division of the Polytechnic University of the Valley of Mexico (UPVM).

This project aims to respond to the multiple requirements of sustainable plant production systems and the breeding of aquatic species for human consumption; that are developed in a symbiotic environment that faces the future of society, solutions, strategies and system design are required to optimize their application, taking into account that as the first measure of recovery of a healthy environment, collaboration and active participation of the entities that make up society, government units, and universities for the development of value proposals that are applicable to the local and national environment.

Three organisms are involved in the optimal performance of aquaponic systems: plants, aquatic species and nitrifying bacteria. This work includes a fourth activity known as vermiculture, which is a biotechnology that uses a species of worm as a work tool, since it recycles all kinds of organic matter, obtaining as a result of this work humus, meat and leachate. It is an attractive zootechnical activity, which allows fine-tuning all agricultural production systems and is an expanding business that is projected in the future as the fastest and most efficient means for soil recovery in rural areas.

The purpose of the Project is to generate a sustainable biotype, as a first stage with the creation of a climatic Chamber for controlled

UPVM, División de Ingeniería en Nanotecnología, damarisupvm@gmail.com, nano@upvm.edu.mx 55 5062 6460, Maestría
UPVM, División de Ingeniería en Nanotecnología, cintiaeli@gmail.com,
nano@upvm.edu.mx 55 5062 6460, Estudiante
UPVM, División de Ingeniería en Mecatrónica,
miroslavacarolinabarreto@gmail.com. 55 5062 6460, Ingeniera





growth of various species that allows an adequate environment for their survival. (biotope)

In a second stage, a larval laboratory is contemplated with reproduction and breeding with the species *Eisenia Foetida* (Californian red worm) to obtain raw material (pellets) in the final stage. As well as alternate products generated from this larval laboratory (humus and leachate as fertilizer). In parallel, the planting and harvesting of hydroponic baby lettuce as part of the sustainable biotype for worm feeding, as well as the reproduction and breeding of *Acociles* (*Procambarus acanthophorus*), an endemic species from Mexico to obtain raw material (pellets) in the final stage. As well as alternate products such as standing and processed sales.

In a third stage, the elaboration of a pellet with the worm and the exoskeleton of the crayfish is contemplated as an alternative food for terrestrial species and/or food supplement.

For this reason, an initiative of this nature not only means expanding the training opportunities of students, but also promotes the consolidation of institutional and social spaces with an intercultural dimension, and acquires strategic importance in the core part of education by involve students in the creation of real scenarios within the same institution, where the application of knowledge and the result of these will be reflected.

Keywords: System, Reproduction, Sustainable

INTRODUCCIÓN

La sustentabilidad es un concepto que ha cobrado importancia durante las últimas décadas a nivel mundial, debido a la necesidad que representa para la estabilidad de un país en conjunto, desde una perspectiva ambiental, económica, social y cultural. (Bonilla Hernández, 2012).

Las plantas y los peces son cultivos comerciales, mientras que las bacterias nitrificantes juegan un papel importante en la biofiltración, convirtiendo los desechos tóxicos de amoníaco de los peces en nitrato nitrogenado, uno de los nutrientes minerales más importantes requeridos por las plantas.

La acuaponía es el cultivo combinado de especies acuáticas y plantas en sistemas de recirculación. Nutrientes, que son excretados directamente por los peces o generados por la descomposición microbiana de residuos orgánicos, son absorbidos por las plantas cultivadas hidropónicamente (sin suelo), por lo que el alimento para los peces proporciona la mayor parte de los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas. A medida que el efluente de la acuicultura fluye a través del componente hidropónico del sistema de recirculación, los metabolitos de desecho de pescado se eliminan mediante la nitrificación y la absorción directa por las plantas, tratando de este modo el agua, que fluye de nuevo al componente de cría de peces para su reutilización.

Los sistemas acuapónicos varían en tamaño, desde pequeñas unidades interiores o exteriores hasta grandes unidades comerciales que utilizan la misma tecnología. Los sistemas comúnmente contienen agua dulce, pero también son factibles los sistemas de agua salada, dependiendo del tipo de animal acuático y del tipo de plantas involucradas. La ciencia de la acuaponía se encuentra aún en una etapa temprana de desarrollo, lo que permite explorar grandes posibilidades de negocio.

La temperatura, el porcentaje de humedad relativa, la intensidad lumínica, el ph y la concentración de CO₂ son variables críticas para favorecer o limitar el desarrollo de plantas y animales. “Para que las plantas puedan realizar sus funciones es necesaria la conjunción de estos factores dentro de unos límites máximos y mínimos, fuera de los cuales las plantas cesan su metabolismo” (Infoagro, 2011a), lo que les puede llegar a causar la muerte. Estos factores no sólo afectan a las plantas, sino también a los insectos que habitan en ellas, ya que estas plantas hospederas al ser sometidas a estrés de temperatura y humedad relativa sufren modificaciones en su arquitectura, la estructura de sus órganos, su fisiología y composición bioquímica, lo que hace necesario el control de esos elementos para permitir la supervivencia de diferentes plantas y animales dentro de ambientes controlados. Las plantas presentan una curva de respuesta a la temperatura, donde se determina una tasa de crecimiento máximo y un rango de temperatura máximo y mínimo por fuera del cual su desarrollo se detiene (Raffo, 2004), razón por la cual el control de esta variable es un factor decisivo respecto a su crecimiento. Estos valores de temperatura varían dependiendo de la especie y de la etapa de desarrollo en la que se encuentre, lo que afecta directamente a las plantas en las funciones de fotosíntesis, respiración, permeabilidad de la membrana celular, absorción de agua y nutrientes, transpiración y actividades enzimáticas y entre otras. “En términos fisiológicos, un animal debe acumular cierta cantidad de calor para poder desarrollarse” (Marco, 2001). El aumento de la temperatura en que se desarrolla una especie de animal acelera su tasa de desarrollo, y por consiguiente, aumenta el número de generaciones que tiene durante el año (Mejía, 2005). Desde luego, este comportamiento puede ser diferente en muchas especies, pero ocurre así de forma general (Brodsky y Naranjo, 1976). Además, a temperaturas superiores a las adecuadas, los porcentajes de mortalidad son muy elevados, lo que dificulta los estudios que se puedan realizar a altas temperaturas, las cuales son conocidas como el umbral máximo de desarrollo. (Pazos Urrea, 2013)

Actualmente, existen múltiples iniciativas que vinculan a instituciones y organismos gubernamentales en temáticas ligadas a la sustentabilidad y al desarrollo de proyectos de investigación científicos, sociales y tecnológicos. Con frecuencia, en los proyectos de cooperación se destacan las iniciativas para el desarrollo de proyectos. Sin embargo, son aún escasas en el espacio las oportunidades de obtener una sustentabilidad dentro de la misma institución.

Las ventajas de este tipo de vinculaciones son múltiples y muy beneficiosas para ambas partes ya que es un factor con alto



impacto en el desarrollo económico de los países, que permite que el conocimiento y la tecnología generados se comercialicen en beneficio de la sociedad. Nos dan beneficios financieros, educativos, recreativos. También al crear alianzas con miras a las cooperativas éstas brindarán autonomía y la independencia, es decir, que son de ayuda mutua y lo más importante, controladas por sus propios miembros.

ANTECEDENTES

Los primeros indicios de la acuaponía se piensa son de los aztecas ya que practicaron una forma inicial mediante la crianza de peces junto a las cosechas. Ellos construían islas artificiales conocidas como “chinampas” pantanos y lagos someros, y plantaba en ellos maíz, zapallo y otras plantas. En los canales navegables que rodeaban las islas fueron usados para la crianza de peces. Los desechos de los peces que caían al fondo de los canales eran recuperados para fertilizar a las plantas. (*Historia De La Acuaponía*, 2012).

En el sur de China y en Tailandia se acostumbraba cultivar arroz en campos inundados en combinación con peces. Este es otro de los sistemas referidos como acuaponía temprana. Este tipo de sistema se extendió a muchas regiones de Asia, y se utilizaba para complementar la alimentación de las aldeas agrícolas. (Jiménez Márquez, 2020)

Es el sistema de cultivo que combina la acuicultura y la hidroponía. Plantas y peces crean sinergias que benefician a ambos seres vivos, ya que, por una parte, los desechos metabólicos de los peces se convierten en nutrientes que permiten crecer con más fuerza las plantas, y, por otra parte, estos vegetales hacen una doble función: la de limpiar el agua y eliminar elementos tóxicos. (Carrillo, 2020).

En los Estados Unidos, la cría de lombrices ha estado presente durante aproximadamente 50 años, y la especie conocida como “lombriz roja californiana” (comercialmente denominada “red hybrid”) ha demostrado ser la más adecuada para la cría en cautiverio (Ferruzi, 1988; Hernández, 1991; Lastra, 1995).

Las lombrices representan un recurso de gran interés para la sostenibilidad en la agricultura, ya que desempeñan un papel activo en la regulación de las propiedades físicas del suelo, la dinámica de la materia orgánica y el crecimiento de las plantas (Lavalle et al., 1999). Junto con otros organismos macrodescomponedores, forman parte de la fauna del suelo. Esto se debe a su capacidad para descomponer la materia orgánica, reciclar nutrientes y contribuir a la formación del suelo (Räty y Huhta, 2004). Sin embargo, su actividad puede verse afectada en presencia de elementos tóxicos en el suelo (Spurgeon et al., 1994).

Los acociles tienen una historia de aprovechamiento y uso que se remonta a tiempos antiguos.

Aunque no se cuenta con información precisa sobre los primeros registros de su reproducción y cría, se sabe que estas especies de crustáceos han sido utilizadas como alimento y recurso en diversas culturas a lo largo de los años.

Además de su uso alimentario, los acociles también han tenido un papel importante en la medicina tradicional de algunas culturas. Se les atribuyen propiedades curativas y se utilizan en tratamientos para diversas afecciones, como enfermedades del corazón, problemas digestivos y malestares renales.

En términos de su explotación comercial, la cría de acociles ha experimentado un crecimiento significativo en las últimas décadas. En algunos países de América Latina, como México y Guatemala, se han desarrollado proyectos de acuicultura enfocados en la reproducción y producción de acociles para abastecer la demanda en el mercado local e incluso para la exportación.

Hoy en día, para lograr una reproducción donde se puedan mantener especies de una forma sustentable se crearon las cámaras de ambiente controlado.

Éstas cámaras son recintos en los que se crean de forma artificial las condiciones necesarias para que se lleven a cabo algunas funciones de los seres vivos, como la micropropagación y el crecimiento de plantas, entre otras (Álvarez et al., 2007). Las cámaras de ambiente controlado presentan un amplio rango de aplicaciones, como simulación ambiental, envejecimiento acelerado, control de calidad, investigación de materiales y sistemas, estudio de estabilidad de productos, acondicionamiento húmedo, y análisis de comportamiento de especies animales y vegetales, entre otras. Las cámaras de ambiente controlado se diseñan en función de cada aplicación, teniendo en cuenta variables fundamentales tales como la capacidad de enfriamiento; la capacidad de calentamiento; la capacidad de humidificación; las dimensiones del recinto de ensayo; el formato, compacto o por paneles ensamblables; la masa sometida al tratamiento, conservación o ensayo; la disipación térmica del contenido; y variables adicionales tales como la existencia de gases controlados (contaminación, renovación de emanaciones y atmósferas inertes, entre otros) y simulación solar; entre otros (CCI, 2009). “Estos ambientes controlados resultan de gran utilidad, ya que facilitan la obtención de un producto en entornos diferentes a los habituales y durante diferentes estaciones climatológicas” (Álvarez et al., 2007), ya que permiten independizar el clima interno del externo. Las cámaras de ambiente controlado deben contar con una fuente de frío, una de calor y un panel de iluminación para poder obtener las condiciones de temperatura, humedad e iluminación que simulan las del ambiente natural. Pueden manejar un amplio rango de temperaturas, para que cualquier atmósfera pueda ser simulada de forma constante durante largos períodos de tiempo, junto con lámparas fluorescentes que suplen la iluminación natural que necesitan las plantas (Álvarez et al., 2007), pues les brindan la mayor parte del espectro de luz que requieren para permitir su supervivencia dentro del recinto. (Pazos Urrea, 2013).

Fueron los científicos quienes llamaron la atención internacional sobre las amenazas planteadas por el efecto invernadero. La historia del descubrimiento científico del cambio climático comenzó a principios del siglo XIX cuando se sospechó por primera vez que hubo cambios naturales en el paleoclima y se identificó por primera vez el efecto invernadero natural.



En los decenios de 1950-60, 1960-70 y 1970-80 se recogieron datos que demostraron que las concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera estaban aumentando muy rápidamente.

En 1988 se creó el Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) por iniciativa de la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). En 1990 este grupo presentó un primer informe de evaluación en el que se reflejaban las investigaciones de 400 científicos.

En él se afirmaba que el calentamiento atmosférico de la Tierra era real y se pedía a la comunidad internacional que tomara cartas en el asunto para evitarlo.

Las conclusiones del IPCC alentaron a los gobiernos a aprobar la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. En comparación con lo que suele ocurrir con los acuerdos internacionales, la negociación en este caso fue rápida. La Convención estaba lista para firmar en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo que se celebró en 1992 en Río de Janeiro, conocida como Cumbre para la Tierra.

Las observaciones del IPCC, por el hecho de reflejar un consenso científico mundial y ser de carácter apolítico, representan un contrapeso útil en el debate, con frecuencia muy politizado, sobre qué se debe hacer con respecto al cambio climático. Los informes del IPCC se utilizan con frecuencia como base para las decisiones adoptadas en el contexto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), y desempeñaron un papel importante en las negociaciones que dieron lugar al Protocolo de Kyoto. (Inicio Internacional Antecedentes Históricos, n.d.).

DESARROLLO DEL TEMA

El proceso de elaboración de lombricomposta permite la utilización de una amplia variedad de residuos orgánicos, sin embargo, es más conveniente limitarla a los desechos de frutas y verduras de la preparación de los alimentos; es decir, ÚNICAMENTE los desechos de origen vegetal en crudo, cáscaras y tallos: cáscara o trozos de melón, sandía, papaya, manzana, plátano; hojas de elote, lechuga, tallos de cilantro, perejil, jitomate, chile, etcétera, EVITANDO los cítricos. Es importante que los residuos sean cortados en trozos pequeños (máximo de 2 cm). (Morales, 2011).

La *Eisenia foetida*, dentro de la lombricultura se ha convertido en una actividad alternativa en el sector agropecuario que sigue regulaciones similares a las aplicadas en la cría de animales domésticos. Para llevar a cabo esta práctica, es necesario contar con conocimientos sobre la biología de los anélidos y la tecnología relacionada con su crianza, alimentación y reproducción.

Existen varias especies de lombrices utilizadas con este propósito, como *Allopora caliginosa* (lombriz de campo, útil en la agricultura pero con una reproducción limitada), *Ocasius lacteum* (lombriz parda, que se desarrolla en suelos arenosos y húmedos), *Dendrobaena alpina* (lombriz del lodo, que se encuentra asociada a

la *Eisenia foetida*), *Lombricus terrestris* (lombriz de tierra, que excava galerías profundas y prefiere regiones frías pero tiene una baja tasa de reproducción), *Lumbricus rubellus* (lombriz de residuos orgánicos, que vive tanto en la superficie como en el suelo) y *Eisenia foetida* (lombriz del estiércol o roja californiana, con una gran capacidad reproductiva) (Compagnoni, 1984).

La lombriz roja (*Eisenia* spp.) se ha convertido en una herramienta biotecnológica clave en

la actualidad para el reciclaje de desechos orgánicos. Como beneficio adicional, se obtiene

vermicompost (abono orgánico) y carne de lombriz, que se utiliza como una fuente óptima de alimentación animal (Ferruzzi, 1987).

Esta especie de anélido, caracterizada por ser hermafrodita, puede llegar a producir grandes cantidades de lombrices por año. El abono resultante de sus deyecciones contiene una alta concentración bacteriana (2×10^{12} bacterias/g) y su ciclo biológico se desarrolla en espacios reducidos (50×10^3 cm³ de sustrato). Además, se adapta a una amplia gama de condiciones edafoclimáticas (Flores y Alvira, 1988)

Instalación del compostero.

Como compostero, para interiores, puede utilizarse un contenedor de madera o de plástico, o bien para exteriores una construcción de reja o de malla. Aunque es recomendable que el contenedor tenga tapa, basta. (Morales, 2011).

La temperatura ideal dentro del compostero es de entre 20°C y 25°C. Una excesiva acumulación de calor se evita con la aireación de los materiales, que además oxigena la mezcla. Asimismo, es necesario un ambiente húmedo para prevenir la deshidratación de la lombriz y favorecer su desplazamiento en el sustrato. Por otro lado, una humedad excesiva puede producir condiciones anaeróbicas no aptas para las lombrices, que causan olores desagradables, además de la producción de lixiviados. Mezclar los materiales demasiado húmedos con otros más secos es una práctica de control de humedad que mantienen al mínimo la producción de lixiviados. Se recomienda revolver cuidadosamente el contenido con un bieldo o pala, una vez por semana. (Morales, 2011)

Cosecha.

Una vez que los materiales han tomado un color café oscuro, y que su olor es como el de tierra húmeda (entre seis semanas y tres meses de procesamiento), puede cosecharse la composta. Entre los métodos de cosecha más comunes se encuentran la separación a mano (vaciado la composta en una superficie al sol, haciendo montículos pequeños y retirando los bordes cada diez minutos para permitir a la lombriz desplazarse hacia abajo); el cribado exterior (estresante para la lombriz, en el que la composta pasa a través de una malla o criba y la lombriz no); el cribado interior (la lombriz se traslada a las capas superiores del contenedor a través de una malla, mientras la composta permanece en el fondo); el método de migración horizontal (colocando alimento sólo de un lado del contenedor para que la lombriz migre a éste), y el método de vertido en jardín con todo y lombriz. Entre estos métodos, el más recomendable para recuperar el mayor número posible de lombrices es el cribado interior, en el que con un cajón se recolecta composta terminada y lixiviados de la parte inferior del



contenedor, sin necesidad de molestar a la lombriz sacándola de su hábitat. (Morales, 2011).

Si bien existen alimentos convencionales orientados al ganado, una alternativa viable a esos nutrientes puede ser la Lombriz Roja de California (*Eisenia fetida*), que es una especie de lombriz californiana. Según los análisis realizados:

- El contenido de proteínas de la lombriz, en su estado seco, es del 58,87%. Esto significa que si se seca completamente una lombriz que pesa 1 gramo, aproximadamente 0,5887 gramos de ese peso serían proteínas.
- Además, este alto contenido de proteínas coincide con las necesidades de los peces, que requieren niveles de proteína entre el 35% y el 60%.
- También se denotan los niveles de otros nutrientes, como los aminoácidos esenciales (lisina, metionina, arginina, valina), las grasas (7,94% en estado seco), las cenizas (13,53% en estado seco), y los carbohidratos (19,63% en estado seco).

Su capacidad de reproducción es elevada, lo que permite obtener una producción significativa en poco tiempo. Por ejemplo, se estima que una lombriz roja (*Eisenia foetida*) puede generar de 4 a 5 lombrices jóvenes por semana. Considerando un número inicial de lombrices y su tasa de reproducción, se puede calcular una estimación de la producción a lo largo del tiempo. Si se comienza con 100 lombrices y cada una produce 4 lombrices jóvenes semanalmente, después de un año se podría obtener una población de alrededor de 20,000 lombrices

Los cuales pueden alimentar de manera permanente a la especie acuática.



Ilustración 9 Humus de lombriz y composta

El cultivo de acociles es relativamente fácil en comparación con otras especies de crustáceos (ej. camarón y langostinos); esto se debe, a sus características bioecológicas como: desarrollo larval abreviado (no presentan estadios larvarios), rápido crecimiento, reproducción durante todo el año y elevadas tasas de supervivencia. Lo anterior, hace de los acociles candidatos idóneos para cultivos acuícolas.

Los acociles son crustáceos de agua dulce pertenecientes a la familia Cambaridae. También se les conoce como cangrejos de río o langostinos de río. Son animales pequeños, similares en

aparición a los camarones, pero con un cuerpo más robusto y con una cola larga y aplanada.

Estos crustáceos se encuentran principalmente en los cuerpos de agua dulce de América,

especialmente en México y Centroamérica. Son muy apreciados en la gastronomía regional debido a su sabor distintivo y su carne delicada. Además, los acociles desempeñan un papel ecológico importante en los ecosistemas acuáticos, ya que contribuyen a la descomposición de la materia orgánica y son una fuente de alimento para otras especies.

En cuanto a su alimentación, los acociles son principalmente omnívoros. Se alimentan de una variedad de materia orgánica, como algas, plantas acuáticas, detritos y pequeños invertebrados. Además, son conocidos por su capacidad para cazar y capturar presas vivas, como insectos acuáticos y larvas.

En términos de reproducción, los acociles tienen un ciclo de vida complejo. La reproducción suele ocurrir durante la temporada de lluvias, cuando los cuerpos de agua están bien abastecidos. Las hembras ponen huevos que llevan adheridos a sus patas traseras hasta que eclosionan. Los juveniles pasan por varias etapas de desarrollo antes de convertirse en adultos.

Es importante destacar que los acociles requieren de un hábitat acuático saludable para sobrevivir y reproducirse adecuadamente.

El interés en la reproducción comercial de acociles se debe en parte a su valor gastronómico y al reconocimiento de su potencial económico. A medida que la demanda de estos crustáceos ha aumentado, se han implementado prácticas de cría y manejo más especializadas para optimizar la producción y garantizar la calidad del producto final.

Para finalizar, las Lechugas Baby Leaf presentan ciclos de producción muy rápidos que oscilan entre 30 y 45 días según la época de producción.

Desde los años 80 aproximadamente, el consumo de alimentos conocidos como “IV Gama” no ha dejado de crecer. Estos son, por ejemplo, las ensaladas preparadas o las bolsas de lechugas u otras verduras directamente cortadas, que aumentan en dobles dígitos año tras año.

Las hojas de estos cultivos se lavan, mezclan y empaquetan en envases listos para el consumo directo, al alcance de personas, en tiendas o supermercados, y también de empresas de restauración como restaurantes, hoteles... Su consumo por tanto es muy cómodo. Esta tendencia también se ve en Europa, siendo aún más notable en el Norte del continente, potenciada a su vez por los hábitos de vida saludable y los nuevos patrones de familia.

Además, año tras año se han incrementado las explotaciones dedicadas a estos cultivos, mejorando la calidad y cantidad de las producciones, consiguiendo así ofrecer al mercado, baby leaf durante todo el año en perfectas condiciones.

El cultivo requiere que la cama de siembra este muy bien preparada (mullido, uniforme, aireado) para que nazcan bien las semillas de las especies de Baby Leaf sembradas.



Es muy importante que haya una germinación de las semillas muy uniforme y vigorosa para que el cultivo se establezca rápidamente y que al cosechar se tenga una alta producción de hoja sana.

En cuanto al cultivo de lechuga baby en el sistema hidropónico, la producción varía en función del área de cultivo y la densidad de plantas. Por ejemplo, si se utilizan mesas de cultivo hidropónico con una densidad de 20 plantas por metro cuadrado y se dispone de 10 metros cuadrados para el cultivo, se estima una producción de aproximadamente 200 plantas de lechuga baby.

Es importante tener en cuenta que estas estimaciones son aproximadas y pueden variar según las condiciones específicas. Además, se pueden implementar estrategias de manejo y optimización para aumentar la producción de acociles, lombrices y lechuga baby en la cámara ambiental.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Otra ventaja de manejar este tipo de sustentabilidad es que permite además de una reproducción óptima de cada especie, obtener productos alternos que permitan una comercialización y desarrollo emprendedor. Productos que para este proyecto son: humus orgánico, harina de lombriz, acocil y lechuga orgánica para consumo y, finalmente y de acuerdo a las propiedades estudiadas de cada especie un suplemento adicionado.

Los cálculos actuales nos brindan la siguiente información:

Mediante los cálculos realizados por producción al año de lombrices, acociles y lechugas, obtenemos los siguientes resultados por metro cuadrado:

Se producen 150 acociles cada cuatro meses, que en total representan 450 acociles al año.

Cada uno pesa aproximadamente 1 gramo, lo que genera alrededor de 0.1125 kilogramos (112.5 gramos) de harina de acocil al año. Los acociles alcanzan su etapa de madurez a los 4 meses.

En el caso de las lombrices, mantenemos 800 individuos al año, cada una pesando alrededor de 1.4g. Esto resulta en una generación de 0.1244 kilogramos (124.4 gramos) de harina de lombriz al año. Las lombrices alcanzan su etapa de madurez a los 90 días.

Además, en una huerta de lechuga hidropónica, se cultivan 20 lechugas cada 45 días por metro cuadrado, lo que equivale a una producción total de 160 lechugas por metro cuadrado al año.

Estos resultados adquieren especial relevancia cuando se consideran en el contexto de los programas sociales de alimentación de la Ciudad de México, como el programa de desayunos escolares. La producción anual de 0.1244 kg de harina de lombriz, 0.1125 kg de harina de acocil y 160 lechugas por metro cuadrado, podría ser utilizada para fortalecer y diversificar la oferta nutricional de estos programas.

En resumen, al año, por cada metro cuadrado de producción, se generan 0.1244 kg de harina de lombriz, 0.1125 kg de harina de acocil, y se cultivan 160 lechugas. Los acociles y las lombrices alcanzan su etapa de madurez a los 4 meses y 90 días respectivamente. Estos resultados pueden ser significativos para

programas sociales de alimentación en la Ciudad de México, como el programa de desayunos escolares, contribuyendo al bienestar nutricional de los beneficiarios de estos programas.

El proyecto de Sustentabilidad alimentaria en la Ciudad de México: Lechuga, Acociles y lombrices en el Biotopo Hidropónico Autosustentable se presenta como una solución innovadora y cuantificable para abordar los desafíos relacionados con la inseguridad alimentaria y las problemáticas de malnutrición y obesidad en la ciudad.

Gracias a los procesos de alta proteína presentes en las lombrices y acociles, así como las propiedades nutritivas de la lechuga, este proyecto tiene como objetivo proporcionar alimentos de calidad y alto valor nutricional a los habitantes de la Ciudad de México, especialmente aquellos que se encuentran en situación de vulnerabilidad.

La implementación del Biotopo Hidropónico Autosustentable no solo garantizará el suministro constante de alimentos saludables, sino que también contribuirá a fortalecer los programas de asistencia social alimentaria activa en la ciudad. El uso del humus producido por las lombrices como fertilizante y abono beneficiará directamente a la producción de leche de bovino, la principal actividad pecuaria en la Ciudad de México.

Según las estadísticas, la producción de leche de vaca representa el 50.4% del valor total de la entidad en este ramo. Además, se destaca que Xochimilco es la delegación líder en producción pecuaria, seguida de Tlalpan, Milpa Alta, Tláhuac y La Magdalena Contreras.

Estas cifras evidencian la relevancia y el potencial de impulsar proyectos como el Biotopo Hidropónico Autosustentable para fortalecer la ganadería y diversificar las fuentes de alimentación.

Es importante tener en cuenta que la inseguridad alimentaria afecta especialmente a los niños en edad escolar y adolescentes en México, y las tasas más altas de sobrepeso se observan en hogares con inseguridad alimentaria severa. Este proyecto busca abordar estas problemáticas de manera integral, ofreciendo alimentos nutritivos y contribuyendo a reducir tanto la malnutrición como la obesidad en la población de la Ciudad de México.

Actualmente, los gobiernos de casi todo el mundo y corporaciones internacionales posicionan a la sustentabilidad como una parte de sus objetivos prioritarios, ya que por un lado han sufrido el duro golpe del incremento de los energéticos y, por otro lado, la escasez de productos necesarios para asegurar la alimentación de su población tal es el caso de la urea y los fertilizantes. Lo que los ha llevado a tomar consciencia acerca de la posibilidad de una escasez de recursos y alimentos en un futuro no muy lejano, por lo que han decidido colocar parte de su esfuerzo y capital, en desarrollar estrategias de sustentabilidad que les permitan la conservación del medio ambiente, continuidad del negocio e incremento de sus ganancias.

Asegurar el equilibrio entre crecimiento económico, protección del ambiente y la sociedad como centro de todo, es la labor actual de todas las naciones que desde hace unas décadas han sumado importancia al desarrollo pleno del hombre en un entorno saludable y mejora de su calidad de vida, disponiendo de los



recursos de la naturaleza, pero asegurando la subsistencia de las generaciones futuras.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- Bonilla Hernández, N. M. (2012, Junio 5). *El enfoque de la sustentabilidad en México y los Stakeholders como instrumentos de creación de organizaciones eficientes*. Universidad Veracruzana. Retrieved May 18, 2023, from <https://www.uv.mx/iiesca/files/2012/11/011sustentabilidad2011-1.pdf>
- Carrillo, A. (2020, January 24). *La Acuaponía: qué es y su origen antiguo*. ClicKoala Blog. Retrieved June 8, 2023, from <https://join.clickoala.com/acuaponia-que-es-origen-mejores-peces-plantas/>
- COBOS, A. M. (2016, Octubre 7). *UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN*. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN. Retrieved June 7, 2023, from <http://eprints.uanl.mx/11787/1/1080215621.pdf>
- Jiménez Márquez, O. (2020, February 7). *ACUAPONÍA: UNA FORMA POTENCIAL Y SUSTENTABLE DE CULTIVAR DE MANERA EFICIENTE Y SUSTENTABLE ALIMENTOS*. Eumed.net. Retrieved June 7, 2023, from <https://www.eumed.net/actas/20/economia-social/26-acuaponia-una-forma-potencial-y-sustentable-de-cultivar.pdf>
- López, J. A. (2019, Noviembre 8). *2019.11.07 LIBRO ACUAPONIA.indd*. Cifal Málaga. Retrieved June 5, 2023, from <https://cifalmalaga.org/web/wp-content/uploads/2020/04/2019.11.07-LIBRO-ACUAPONIA.pdf>
- Morales, M. R. (2011). *Taller de elaboración de lombricomposta*. IBERO. Retrieved June 13, 2023, from <https://ibero.mx/web/files/publicaciones/taller-de-lombricomposta.pdf>
- Pazos Urrea, J. P. (2013). " " - Wiktionary. Retrieved June 7, 2023, from <https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/1413/%28TG%29%20C%3%A1mara%20de%20Ambiente%20Controlado%20para%20la%20Supervivencia%20de%20Plantas%20e%20Insectos.pdf?sequence=4&isAllowed=%20y>



Manipulación de objetos domóticos mediante comando de voz

*Tania Abigail Lira Baca*¹, *Fernando Gudiño Peñaloza*^{2*}

RESUMEN

Para hablar de discapacidad debemos de abarcar un tema muy amplio que implica abordar varios aspectos alrededor de este término. La discapacidad se refiere a las limitaciones o dificultades que tiene una persona para llevar a cabo acciones o tareas en situaciones cotidianas y vitales debido a una condición física o mental. En México, alrededor del 6% de la población vive con alguna discapacidad; ya sea física, mental y sensorial, y puede ser a causa o agravada por el entorno económico y social. En las casas habitación las diferentes discapacidades limitan el desarrollo de las actividades diarias, acciones sencillas como, prender y apagar una estufa, trasladarse de un lugar a otro, utilizar un electrodoméstico o cerrar una persiana, se convierten en actividades complejas difíciles de realizar para ciertas personas. Es por ello que la automatización de dichos procesos rutinarios es una necesidad inmediata que se debe solucionar. Actualmente, con la ayuda de los asistentes de voz la automatización de unos procesos se ha vuelto más sencilla. El habla ha emergido como uno de los más increíbles medios de comunicación humana, como escritura, lenguaje corporal y el lenguaje gesticular, el habla se considera como la forma más natural y directa de comunicación. Es por ello que naturalmente, se crean interfaces hombre-maquina, para la interacción con diferentes dispositivos. Este artículo habla sobre la utilización de reconocimiento de voz para la automatización de procesos repetitivos dentro de las casas habitación, con el fin de mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad motriz.

ABSTRACT

To talk about disability we need to include a very broad topic that involves addressing various aspects around this term. Disability refers to the limitations or difficulties that a person has to carry out actions or tasks in daily and vital situations due to a physical or mental condition. In Mexico, around 6% of the population lives with some kind of disability; whether physical, mental and sensory, and may be caused by or aggravated by the economic and social environment. In dwelling houses, the different disabilities limit the development of daily activities, simple actions such as turning a stove on and off, moving from one place to another, using an electrical appliance or closing a blind, become complex activities that are difficult for certain people to carry out. That is why the automation of these routine processes is an

immediate need that must be solved. Currently, with the help of voice assistants, the automation of some processes has become easier. Speech has emerged as one of the most incredible means of human communication, like writing, body language, and gestural language, speech is considered to be the most natural and direct form of communication. That is why naturally, man-machine interfaces are created for interaction with different devices. This article talks about the use of voice recognition for the automation of repetitive processes within the houses, in order to improve the quality of life of people with motor disabilities.

Palabras claves: Casa inteligente, Automatización, Inclusión Social, Interfaz Hombre-Máquina

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el Consejo Nacional para el Desarrollo y la Inclusión de las Personas con Discapacidad (CONADIS), la prevalencia en varones es de 3.3 millones y de 3.8 millones en mujeres [1,4].

Existen tres tipos de discapacidad: la sensorial y de la comunicación (discapacidad para ver, oír y hablar), motriz (problemas para caminar, manipular objetos y de coordinación para realizar actividades) y mental (personas que tienen dificultades para aprender y relacionarse con otras personas).

La discapacidad más frecuente es la motriz, ya que de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), las dificultades para ver y caminar son las más frecuentes, mientras que las menos reportadas son las de habla o comunicación. La discapacidad motriz se presenta con más frecuencia en poblaciones productivas y económicamente activas, mientras que la sensorial se presenta más en niños y en adultos mayores.

La domótica es el conjunto de tecnologías aplicadas al control y la automatización inteligente de la vivienda, que permite una gestión eficiente del uso de la energía, que aporta seguridad y confort, además de comunicación entre el usuario y el sistema. Un sistema domótico es capaz de recoger información proveniente de unos sensores o entradas, procesarla y emitir órdenes a unos actuadores o salidas, asimismo, puede acceder a redes exteriores de comunicación o información. [3,5]

* FES-C, Departamento de Ingeniería, itse.lira@gmail.com. FES-C,
Departamento de Ingeniería, fernando.cuautitlan@comunidad.unam.mx





ANTECEDENTES

La discapacidad en México

Según la Organización Mundial de la Salud al 2020, más de 1,000 millones de personas viven en todo el mundo con algún tipo de discapacidad, aproximadamente el 15 % de la población mundial; de ellas, casi 190 millones tienen dificultades en su funcionamiento y requieren con frecuencia servicios de asistencia. El número de personas con discapacidad va en aumento debido al envejecimiento de la población y al incremento de enfermedades crónicas.

De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2020, en México hay 6,179,890 personas con algún tipo de discapacidad, lo que representa 4.9 % de la población total del país. De ellas 53 % son mujeres y 47 % son hombres. [1]



Figura 1. Distribución de personas con discapacidad por genero

El INEGI identifica a las personas con discapacidad como aquellas que tienen dificultad para llevar a cabo actividades consideradas básicas, como: ver, escuchar, caminar, recordar o concentrarse, realizar su cuidado personal y comunicarse, tal como se ve en la figura 2.

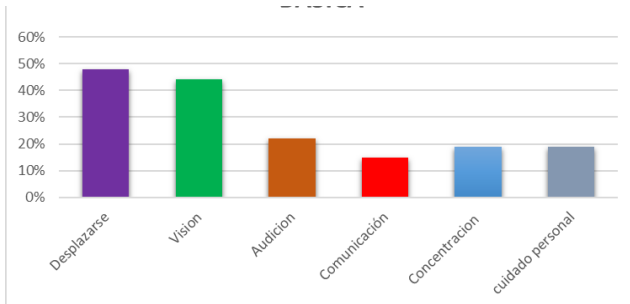


Figura 2. Porcentaje por dificultad actividad Básica. Nota: La suma de porcentajes es mayor a 100 por la población que presenta más de una dificultad. Fuente: INEGI. Censo de Población y Vivienda 2020.[2]

Desarrollo

El reconocimiento automático de voz es la conversión de ondas de voz o de audio en una representación textual de palabras. Por lo general, es el primer paso en las interfaces de usuario de voz como Apple Siri y Amazon Alexa.

Hay muchas propiedades del lenguaje que lo hacen diferente para realizar un reconocimiento automático de la voz con precisión. Algunos de los cuales son el ruido, la elocución, los límites ambiguos de las palabras y la falta de contexto[6].

Para nuestra propuesta seguiremos la siguiente metodología. Descrita en las secciones siguientes

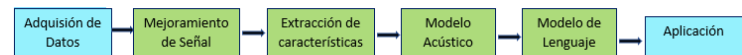


Figura 3. Canalización de reconocimiento de voz[6]

Adquisición de datos.

En la primera etapa se encuentra la adquisición de señales. Mediante un medio de adquisición y digitalización (ADC) se recopilan muestras de audio. Para ello se utilizó el módulo de reconocimiento de voz V.3 de Arduino, cuyas características electrónicas son las siguientes:

- Voltaje de Operación: 4.5V - 5V DC
- Consumo de corriente: <40mA
- Interface digital: 5V TTL UART y GPIO
- Interface analógica: Conector 3.5mm para micrófono
- Precisión de detección: 99% (bajo condiciones controladas)

Además se utilizó de un micrófono omnidireccional de solapa, con las siguientes características:

- Transductor: condensador electret
- Rango de frecuencia: 20 Hz - 16,000 XNUMX Hz
- Sensibilidad: -38 dB ± 3 dB
- Impedancia de salida: ≤ 100 K
- Relación señal-ruido: 58 dB SPL

Mejoramiento de la señal.



En la segunda etapa se realiza el mejoramiento de la señal, en esta etapa las técnicas adecuadas para el mejoramiento de la calidad de las muestras adquiridas son utilizadas: el filtrado, la amplificación etc. Para ello se realizaron los siguientes procesos:

- Filtrado pasa bajas y pasa bandas. El filtrado pasa bandas, también conocido como filtro de banda, es un tipo de filtro electrónico que permite el paso de señales dentro de una determinada banda de frecuencia mientras atenúa o bloquea las señales fuera de esa banda. Esencialmente, este tipo de filtro "filtra" una banda específica de frecuencias de una señal más amplia. Un filtro pasa bandas tiene una respuesta de frecuencia que muestra una ganancia alta o una transmisión eficiente dentro de la banda de frecuencia deseada, y una atenuación significativa fuera de esa banda. La banda de frecuencia se define por una frecuencia de corte inferior y una frecuencia de corte superior.
- Cambio de nivel (offset). el "offset" se refiere a un desplazamiento o corrimiento de un nivel de voltaje o corriente de una señal respecto a una referencia establecida. Es la diferencia entre el valor real de la señal y el valor de referencia.
- El offset puede ser tanto positivo como negativo, dependiendo de si la señal se desplaza hacia arriba o hacia abajo en relación con la referencia. Por lo general, se expresa en voltios (V) o en porcentaje de la amplitud de la señal
- Filtrado de línea. Un filtro de línea es un dispositivo utilizado en electrónica para reducir o eliminar las interferencias y ruidos presentes en la corriente eléctrica de la línea de alimentación. Estas interferencias pueden ser generadas por equipos electrónicos cercanos, fluctuaciones en la red eléctrica o fuentes de radiofrecuencia externas.

Extracción de características.

En la tercera etapa se trata de la extracción de características. Este proceso busca extraer, patrones determinantes en la señal de audio caracterizándolos, permitiendo enfocarse en parámetros distintivos y relevantes en el proceso de reconocimiento de voz.

En el reconocimiento de voz, las características se extraen a partir de las señales de audio que contienen el habla. Algunas de las técnicas comunes utilizadas para la extracción de características en el reconocimiento de voz incluyen:

1. Mel Frequency Cepstral Coefficients (MFCC): Los MFCC son una representación ampliamente utilizada en el reconocimiento de voz. Se calculan a través de una serie de pasos, que incluyen el cálculo del espectro de

potencia de la señal de audio, la aplicación de una escala de frecuencia no lineal llamada escala mel y la aplicación de la transformada de coseno discreta.

2. Filtro bancos de energía: Se utilizan filtros de paso de banda en un rango de frecuencias para medir la energía de la señal de audio en diferentes bandas. Estos filtros capturan las características de frecuencia del habla.
3. Delta y Delta-Delta: Además de las características estáticas, se pueden calcular características dinámicas, como las velocidades y las aceleraciones de los coeficientes MFCC. Estas características dinámicas, conocidas como Delta y Delta-Delta, proporcionan información temporal sobre la señal de audio.
4. Perceptual Linear Prediction (PLP): Esta técnica modela la percepción humana del sonido y extrae características perceptualmente relevantes, utilizando una combinación de análisis espectral y técnicas de predicción lineal.

Estas son solo algunas de las técnicas comunes utilizadas para la extracción de características en el reconocimiento de voz. El objetivo final es obtener un conjunto de características que capturen de manera efectiva las propiedades distintivas del habla y que permitan una correcta clasificación y reconocimiento de los patrones de voz.

En nuestro caso, antes de que se proporcione voz o audio a los modelos, es necesario convertirlo en formas apropiadas para el modelo. Los cuales consisten en espectrogramas

Modelo Acústico.

En la cuarta etapa es el modelo acústico en la cual se intenta asignar la señal de audio a las unidades básicas del habla.

En el reconocimiento de voz, el modelo acústico es una parte fundamental del sistema. Es un componente que se encarga de convertir la señal de audio de entrada en una secuencia de unidades de sonido discretas, como fonemas o subfonemas, que representan las unidades básicas del lenguaje hablado.

El modelo acústico se construye mediante técnicas de aprendizaje automático, como los modelos ocultos de Márkov (HMM, por sus siglas en inglés) o las redes neuronales, que se entrenan utilizando grandes cantidades de datos de voz etiquetados. Estos datos de entrenamiento consisten en grabaciones de voz junto con las transcripciones correspondientes, lo que permite al modelo aprender a asociar las características acústicas de la señal de audio con las unidades de lenguaje correspondientes.

El modelo acústico se basa en la extracción de características de la señal de audio, como los coeficientes MFCC o las características PLP, que se mencionaron anteriormente. Estas características se



utilizan como entradas al modelo acústico para realizar la clasificación y el reconocimiento del habla.

Durante la etapa de reconocimiento, el modelo acústico compara las características extraídas de la señal de audio de entrada con las características aprendidas durante el entrenamiento. Utilizando algoritmos de clasificación, el modelo acústico asigna probabilidades a cada unidad de sonido posible (fonemas o subfonemas) para cada tramo de la señal de audio. De esta manera, el modelo acústico busca determinar qué unidades de sonido son más probables de estar presentes en la señal de entrada.

El modelo acústico es solo una parte de un sistema de reconocimiento de voz completo, que también incluye otros componentes como el modelo de lenguaje y el decodificador. El modelo acústico y estos componentes trabajan en conjunto para convertir la señal de audio en texto reconocido, generando la salida final del sistema de reconocimiento de voz.

Modelo de Lenguaje

En la última etapa es el modelo del lenguaje, en donde el modelo acústico se encarga de asignar correctamente el audio a las palabras, este modelo es el cual permitirá diferenciarlos entre sí. Para lograr esta clasificación adecuada se decidió utilizar redes neuronales artificiales (RNA), Las cuales son una técnica conocida para el reconocimiento de patrones .

Las redes neuronales funcionan de la siguiente manera:

- **Entrada de datos:** Los datos se introducen en la red neuronal a través de una capa de entrada. Estos datos pueden ser imágenes, texto, señales de audio u otros tipos de información, en nuestro caso son de audio.
- **Propagación hacia adelante (Forward propagation):** Los datos se propagan a través de la red neuronal desde la capa de entrada hacia las capas ocultas y, finalmente, hacia la capa de salida. Cada nodo en una capa oculta toma las entradas de los nodos de la capa anterior, realiza un cálculo utilizando una función de activación y envía la salida a los nodos de la capa siguiente.
- **Pesos y sesgos (Weights and biases):** Cada conexión entre los nodos en la red neuronal tiene un peso asociado. Los pesos determinan la influencia que una entrada tiene en la salida de un nodo. Además, cada nodo puede tener un sesgo (bias) asociado, que es un valor constante que se suma a la entrada ponderada antes de aplicar la función de activación.
- **Función de activación:** Cada nodo utiliza una función de activación para introducir no linealidad en la red neuronal. Ejemplos de funciones de activación comunes son la función sigmoide, la función ReLU (Rectified Linear Unit) y la función tangente hiperbólica.

- **Capa de salida y función de pérdida (Loss function):** La capa de salida de la red neuronal produce los resultados finales. Dependiendo del tipo de problema, se utiliza una función de pérdida apropiada para calcular la diferencia entre las salidas de la red y los valores esperados. El objetivo es minimizar esta función de pérdida durante el entrenamiento.

- **Retropropagación (Backpropagation):** La retropropagación es el proceso de ajuste de los pesos y sesgos de la red neuronal para reducir el error de salida. Utiliza el algoritmo de descenso de gradiente para calcular las derivadas parciales de la función de pérdida con respecto a los pesos y sesgos de la red. Estas derivadas se utilizan para actualizar los pesos y sesgos en la dirección que reduce el error.

- **Iteración y entrenamiento:** El proceso de propagación hacia adelante, retropropagación y ajuste de pesos se repite durante múltiples iteraciones o épocas hasta que la red neuronal logre un nivel de precisión o rendimiento deseado en los datos de entrenamiento.

Una vez que la red neuronal ha sido entrenada, puede utilizarse para hacer predicciones o clasificar nuevos datos que no se utilizaron durante el entrenamiento.

Resultados

Hasta el momento el sistema de reconocimiento se encuentra en las etapas iniciales, esto incluye la adquisición de señales y su mejoramiento para la extracción de características- tal como se muestra en la figura 4.

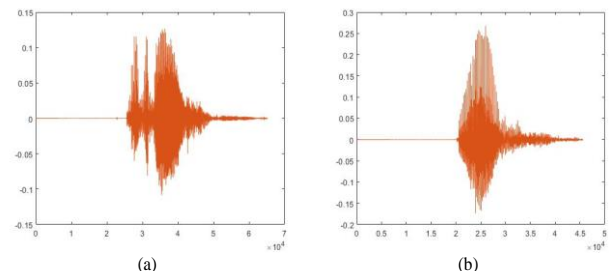


Figura 4. Adquisición de las señales de muestra. En (a) la palabra ABRIR. En (b) la letra A.

Agradecimientos.

Este proyecto fue realizado gracias al apoyo de PIAPIME PE105123 Y PAPIIT IA102323



Conclusiones y trabajo futuro.

Los asistentes de voz son herramientas que nos ayudan a la inclusión social de personas con discapacidad, su principio de funcionamiento se basa en el reconocimiento de patrones auditivos complejos que pueden representarse mediante fonogramas y un ambiente lingüístico adecuado, como trabajo a futuro se deberá de realizar la extracción de características, la separación de fonogramas y el entrenamiento del modelo para su implementación.

Referencias

1. INEGI, «Discapacidad en México,» [En línea]. Available: <https://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/discapacidad.aspx>. [Último acceso: 30 AGOSTO 2022].
2. S.A., [En línea]. Available: <https://1library.co/document/zp2066vy-procesamiento-voz-tiempo-real-empleando-procesador-digital-senales.html>. [Último acceso: 14 Agosto 2022].
3. CEDOM, «Asociación Española de Domótica e Inmótica - CEDOM,» [En línea]. Available: <http://www.cedom.es/sobre-domotica/que-es-domotica>. [Último acceso: 21 agosto 2022].
4. GACETA UNAM, «La discapacidad en México. Una situación que nos compete a todos,» 27 SEPTIEMBRE 2021. [En línea]. Available: <https://www.gaceta.unam.mx/la-discapacidad-en-mexico-una-situacion-que-nos-compete-a-todos/>. [Último acceso: 21 JUNIO 2022].
5. Fuentes Euan, Jonathan. (2022). Desarrollo de aplicaciones domóticas en MATLAB App Designer, implementadas en una tarjeta de desarrollo Arduino. Universidad Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.
6. Towards Data Science, «Automatic Speech Recognition: Breaking Down Components of Speech,» 2021.

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Tania Abigail Lira Baca. Estudiante de la carrera de ingeniería en Telecomunicaciones, Sistemas y Electrónica, de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM, sus intereses en sistemas de control robóticos, sistemas inteligentes.

Fernando Gudiño Peñaloza. Ingeniero Mecánico Electricista egresado de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM, Obtuvo el título de Maestro en Ciencias de la computación y el Doctorado en Ciencias Computacionales por el Tecnológico de Monterrey. Actualmente profesor del departamento de ingeniería de la Fes Cuautitlán, sus intereses se



Rediseño de matriz y punzón

Luis Fernando Díaz Hernández, Juan José Arenas Romero, Jesús García Lira, Martín Castillo Sánchez*

RESUMEN

Una máquina dobladora es una herramienta de conformado cuyo propósito es realizar una curva en una pieza de trabajo. Se ha observado que los artefactos que sufren mayor desgaste en una máquina dobladora de lámina son la matriz y el punzón, ya que son los elementos que tienen contacto directo con el material de trabajo, dado que la máquina dobladora es utilizada constantemente a nivel industrial, la matriz y el punzón son afilados constantemente para que pueda realizar un plegado adecuado. Tomando en cuenta lo anterior y realizando distintos análisis de dureza con apoyo del software SolidWorks se propone una solución atractiva, considerando las propiedades de los metales y estudiando la manera de incrementar la dureza del material

Palabras claves: Matriz, punzón, máquina dobladora, dureza

ABSTRACT

A bending machine is a forming tool whose purpose is to make a bend in a workpiece. It has been observed that the artifacts that suffer the most wear in a sheet bending machine are the die and the punch, since they are the elements that have direct contact with the work material. Since the bending machine is constantly used at an industrial level, the die and the punch are constantly sharpened so that it can perform a proper bending. Taking into account the above and performing different hardness analyses with the support of SolidWorks software, we can propose an attractive solution, considering the properties of the metals and studying the way to add hardness to the material.

Keywords: folding machine, matrix, bodkin, hardness

INTRODUCCIÓN

El tema es el rediseño de la matriz y punzón para una máquina dobladora, ya que, a menudo, requieren un afilamiento, puesto que sufren un desgaste considerable, el cual afecta al momento de realizar el plegado, pues ya no se obtendría un plegado fino.

El estudio fue efectuado con el interés de encontrar una forma de contribución para disminuir el afilamiento continuo, disminuyéndolo hasta un 15%, de esta forma, se disminuye el tiempo de afilamiento tanto del punzón como de la matriz.

Este trabajo se realiza mediante una serie de entrevistas a los trabajadores de una empresa de plegado de chapa, así como la recopilación de información de distintas fuentes.

Podemos clasificar a las máquinas dobladoras en 3 tipos: Plegadora manual, Plegadora CNC, Plegadora hidráulica. Para los tres tipos de plegado se ocupa un punzón y una matriz para realizar cualquier tipo de plegado.

II. MATERIALES Y METODOLOGÍA

Partiendo de que el desgaste de las piezas metálicas se puede definir como una pérdida gradual del metal ocurrida en un cierto tiempo y mediante algún mecanismo que actúa sobre esta.

Fajardo (2015) menciona que existen distintas maneras con las cuales los metales se pueden someter a una serie de tratamientos para potenciar sus propiedades:

- Tratamientos térmicos. El metal es sometido a procesos térmicos en los que no varía su composición química, aunque sí su estructura.
- Tratamientos termoquímicos. Los metales se someten a enfriamientos y calentamientos, pero además se modifica la composición química de su superficie exterior.
- Tratamientos mecánicos. Se mejoran las características de los metales mediante deformación mecánica, con o sin calor.
- Tratamientos superficiales. Se mejora la superficie de los metales sin variar su composición química básica. En estos tratamientos, a diferencia de los termoquímicos, no es necesario llevar a cabo calentamiento alguno.

El tratamiento por el cual se está interesado es un tratamiento superficial, pues no se busca variar la composición química del material ni tampoco endurecer absolutamente todo el elemento, sin embargo, no solo se cuenta con la soldadura para el incremento de material en los puntos interesados para el endurecimiento.

Beltrán, (2003) hace referencia a distintos materiales los cuales podrían ser más duros incluso que el diamante, el autor menciona que los primeros recubrimientos sintéticos duros fueron los materiales binarios TiN (nitruro de titanio) y TiC (carburo de titanio). Pruebas de campo en piezas de diversos materiales, recubiertas con estos compuestos, muestran un incremento en tiempo de vida, o en velocidad de trabajo, comparados con piezas no recubiertas. Los primeros desarrollos se enfocaron a la obtención de recubrimientos multicomponentes, y en otros casos se agregaron componentes metálicos o metaloides. Posteriormente, los desarrollos se basaron en recubrimientos múltiples o multicapas, y más recientemente en recubrimientos nanoestructurados. En estos últimos, a la matriz del recubrimiento, formada por materiales duros, se le agregaron otros componentes con dimensiones nanométrica (un nanómetro es la millonésima parte de un milímetro) como metales, carbono y sólidos lubricantes.

De igual manera, Beltrán menciona que los recubrimientos obtenidos de disoluciones sólidas de los binarios nitruro y carburo

* Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Unidad Azcapotzalco, Academia de Ciencia de los Materiales, Correo electrónico jjarenas.ipn.mx@gmail.com.





de titanio con inclusiones nanométricas de metales o metaloides presentan un mejor rendimiento. Particularmente, los carbonitruros de titanio con varias composiciones y los nitruros de titanio-aluminio han mostrado resultados muy satisfactorios. En especial, se encuentra que para el nitruro de titanio-aluminio el incremento en el tiempo de vida de la pieza de trabajo es mucho más pronunciado para altas velocidades de corte, en comparación con el nitruro de titanio, en condiciones estándar. Además, la cantidad del elemento introducido influye fuertemente en el comportamiento frente al desgaste.

En la Figura 1 se puede visualizar una comparación en el rendimiento de brocas no recubiertas y recubiertas con nitruro de titanio y nitruros de titanio-aluminio, considerando diferentes piezas y diferentes velocidades de trabajo

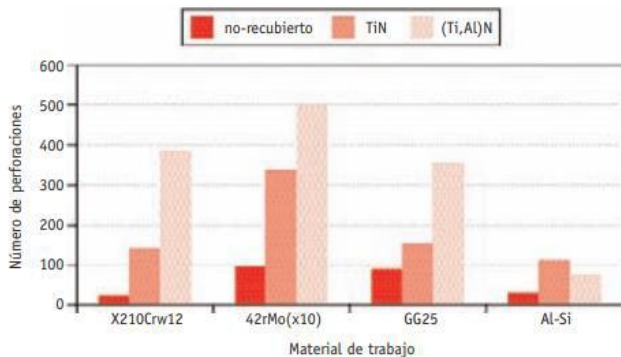


Figura 1.- Desempeño de brocas sin recubrimiento y con recubrimiento

Puesto que el punzón es para una máquina dobladora, el desgaste ocasionado es un desgaste por impacto, este tipo de desgaste lo podemos definir como el efecto de la acción local, por choque o por elevada compresión, de una masa dura sobre una superficie, se identifica como desgaste por impacto.

Tomando en cuenta lo mencionado anteriormente Podemos recurrir al proceso de recubrimiento superficial, en el cual, una capa de material es depositado en un metal, base o sustrato para obtener propiedades o dimensiones deseadas. Este proceso se obtiene por una aplicación de soldadura, proyección térmica o soldadura fuerte. El recubrimiento superficial es usado para cumplir servicios requeridos tales como resistencia a la corrosión, resistencia al desgaste, control dimensional y necesidades metalúrgicas.

A. Soldadura

Según (Caviedes), la soldabilidad se define como el conjunto de propiedades que tiene un acero estructural para permitir efectuar uniones o conexiones soldadas que representen características suficientes de continuidad metalúrgica, tomando en cuenta que esta propiedad debe definirse respecto a un proceso de soldadura determinado. Las características del acero y particularmente su

composición química influyen de manera importante en la soldabilidad.

Shigley & Uicker, Jr, (1998) menciona que existen dos formas para determinar las uniones de soldadura, dependiendo de la posición de los materiales a unir (conocidos como material base) y la soldadura (material de aporte); la forma en que se denominan son uniones a tope y a traslapo o penetración total de la junta (ptj) y penetración parcial de la junta (ppj), respectivamente autor correspondiente.

Los procesos de soldadura más usados para la recuperación y recubrimiento de piezas son los mostrados en la Tabla 1

Tabla 1. Procesos y materiales de recubrimiento superficial más comunes

Procesos	Modo de aplicación	Formas de metal superficial
SMAW	Manual	Electrodos cubiertos, electrodos de vaciado sólido y electrodo tabular
FCAW	Semiautomática o manual	Electrodo compuesto de funda de metal y polvo base
GMAW	Semiautomático o manual	Electrodo tabular y sólido desnudo
SAW	Automático	Varilla tabular sólido desnudo y tira
GTAW	Manual o automático	Polvo, alambre tabular y sólido desnudo
PAW	Automático	Polvo y sólido desnudo y alambre tabular

Los materiales de recubrimiento más comunes son las aleaciones de níquel y aleaciones de hierro/cromo utilizado en la resistencia al desgaste y al alto esfuerzo a la abrasión. Los materiales de aporte más comunes se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Materiales más comunes usados en recubrimientos y su aplicación

Aleación de metal	Propósito
Aleación base cobalto	Resistencia al desgaste y corrosión
Aleación base, cobre	Reconstrucción de piezas desgastadas de maquinaria
Aleación hierro/cromo	Alto esfuerzo a la abrasión
Acero al manganeso	Aplicación al desgaste
Aleación base níquel	Resistencia al desgaste metal
Acero herramienta	Aplicación al desgaste
Carburo de tungsteno	Alto esfuerzo a la abrasión

Tomando en cuenta los materiales propuestos por Beltrán, (2003) y los materiales más comunes usados en recubrimientos, podemos observar que definitivamente el nitruro de titanio-aluminio aporta una dureza notable, sin embargo, en algún momento llegara a necesitar un afilamiento para dar de nuevo la forma deseada, y esto causaría un gran problema por su misma dureza, mientras que con



los materiales comúnmente usados en recubrimientos en soldadura, se podrían afilar con mayor facilidad en caso de ser necesario y de igual forma se cumple el objetivo de agregar dureza al material en las caras o puntos necesarios.

B. Desgaste.

Por otro lado, Pass Stanztechnik (Pass, Tecnología de Punzonado, AG) muestra los datos recopilados con el propósito de facilitar el tiempo de vida estimado de los punzones.

La **Figura 2** permite identificar al periodo de afilado después de una relevante cantidad de golpes, esta permite clarificar como es que el proceso de punzonado contiene una gran variedad de influencias que afectan en mayor o menor medida el incremento o decremento de la vida útil del punzón, medido en golpes totales.

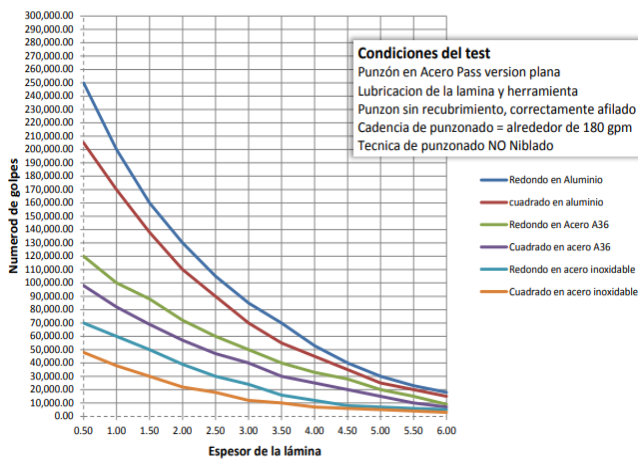


Figura 2. Tiempo de vida estimado de un punzón con respecto al número de golpes y espesor de lámina, (Ag).

C. Análisis de esfuerzos

Ahora bien, tomando en cuenta que, debido a la acción de cortar en la lámina, tanto el punzón como la matriz están sujetos a cargas compresivas, que originan, en el caso del punzón, esfuerzos de compresión a todo lo largo del punzón.

Para los análisis efectuados es necesario considerar lo siguiente:

- El comportamiento del material para los punzones es tanto elástico como lineal.
- El proceso de punzonado es adiabático, es decir, no hay transferencia de calor.
- No hay pérdidas de energía.
- La masa del punzón no interviene en la evaluación del esfuerzo.

Con toda la información recabada, y de acuerdo con el catálogo UTP, el campo de aplicación UTP 34 N se aplica para unir y revestir bronce aluminicos con múltiples elementos, sobre todo aquellos con alto contenido de manganeso, así como acero y hierro colado. Su alta resistencia al agua de mar y a la corrosión, UTP 34 N es especialmente apropiada para aplicaciones en la construcción

naval (propelas, bombas, etc.), y en la industria petroquímica (bombas, compuertas, válvulas), sobre todo donde el ataque químico está combinado con erosión. Su favorable coeficiente de fricción indica aplicaciones ventajosas en ejes, árboles, superficies de deslizamiento, cojinetes, punzones y matrices de todo tipo.

UTP 34 N tiene excelentes características de soldabilidad. El depósito tiene altos valores mecánicos con buena tenacidad, libre de poros y a prueba de grietas, en la Tabla 3 podemos ver las propiedades mecánicas de del depósito mencionado.

Tabla 3. Propiedades mecánicas del depósito

Resistencia a la tracción MPa	Alargamiento %	Dureza Brinell	Conductividad eléctrica	Rango de fusión °C
Hasta 650	>20	>220	- 3	940-980

III. RESULTADOS

De acuerdo con el análisis realizado con el software SolidWorks podemos observar que los puntos con mayor desgaste para el punzón son los que se muestran en la Figura 3 y en la Figura 4, en ambas figuras se utiliza una fuerza de 9810 N para realizar en análisis y observamos los puntos de mayor desgaste para el punzón y la matriz respectivamente, ambos estudios son realizados sin recubrimiento.

Cabe recalcar que en las imágenes siguientes se muestran colores en los elementos, el color azul indica en donde el elemento no tiene un efecto notable y trabaja bien bajo esa carga y de ahí la degradación de color hasta el rojo, el cual indica el fallo total en el elemento.

El estudio realizado arrojo que se necesita una fuerza de 1.304e+02 psi para que la matriz falle y para el punzón se necesita una fuerza 1.905e+07 N/m² para llegar al fallo del punzón. Con este estudio podemos ver las partes en donde se tendría que agregar soldadura para que el elemento pueda volverse más resistente al desgaste.

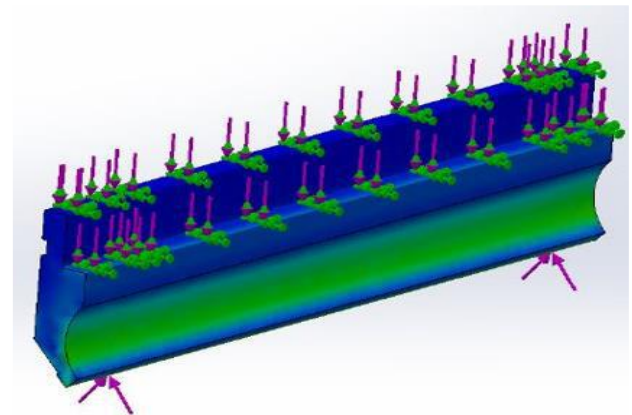


Figura 3. Análisis de compresión del punzón

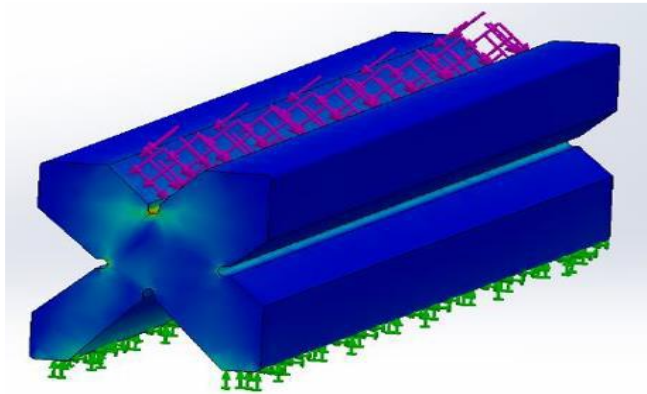


Figura 4. Análisis de compresión de la matriz

Ahora bien, colocando la soldadura en los puntos que se observaron en la Figura 5, el nuevo análisis arroja que se requiere una fuerza de $1.668e+07 \text{ N/m}^2$ para comprometer el punzón.

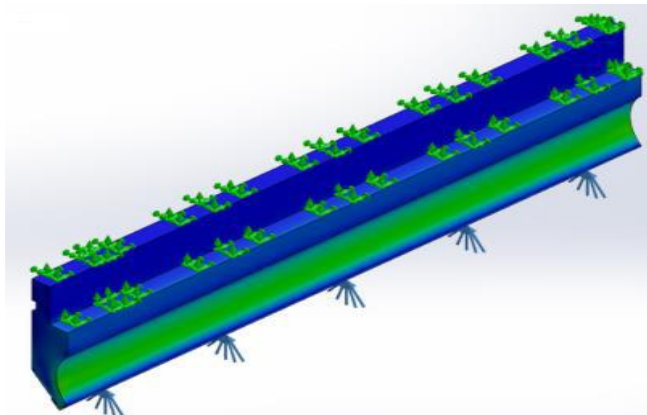


Figura 5. Análisis de compresión del punzón con soldadura

En la Figura 6 se muestra que el nuevo análisis arroja que la fuerza necesaria para vencer la matriz es de $1.166e+07 \text{ N/m}^2$

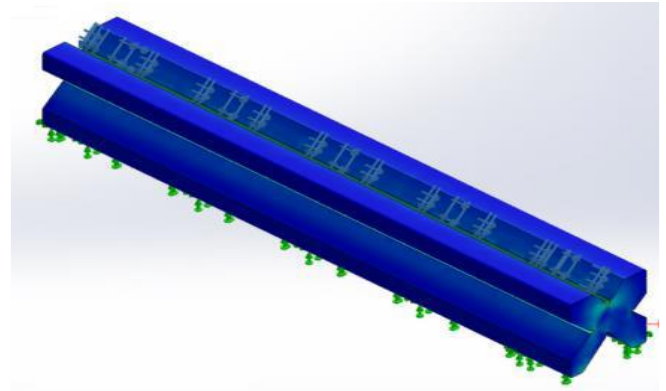


Figura 6. Análisis de compresión de la matriz con soldadura

IV. CONCLUSIÓN

Con la investigación realizada podemos concluir que existen diversos métodos para incrementar la dureza de algún elemento, sin embargo, estos incluyen un cambio químico en el material. Puesto que el interés es agregar dureza solo a las caras tanto del punzón como de la matriz en donde es generado el mayor esfuerzo, nos concentramos en un tratamiento superficial, sin embargo, para la elección de material que se puede agregar es totalmente recomendable utilizar el material que normalmente se usa para un recubrimiento superficial, ya que, el nitruro de titanio y nitruros de titanio-aluminio son bastante duros y definitivamente en algún momento llegara a necesitar un afilamiento para dar de nuevo la forma deseada, este sería un problema notable, puesto que al ser un material tan duro, el único material que podría dar dicho afilamiento, sería el diamante y aun así sería un afilamiento difícil de hacer y quizá no se logre, ya que justamente, el material llega a tener casi la misma dureza del diamante, por lo tanto, sería casi imposible dar un nuevo afilamiento. Resulta ser mejor el recubrimiento con materiales de aporte más comunes con los cuales logramos el objetivo de obtener una dureza notable y no te generaría problema al momento de afilar nuevamente el elemento para darle la forma deseada.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- Ag, B. P. (s.f.). <http://www.grupoidemet.com.mx>. Obtenido de <http://www.grupoidemet.com.mx/pdf/punzonadoras-b/Como%20calcular%20la%20vida%20util%20de%20los%20punzones%20para%20punzonadoras%20-%20Informe%20tecnico%20Boschert%20-%20Pass%20AG.pdf>
- Beltrán, Espinoza, F. J., & González Hernández, J. (enero- marzo de 2003). MATERIALES SUPERDUROS. pág. 8.
- Bohler-Uddeholm. (2006). UTP. México.
- Caviedes, J. L. (s.f.). Técnicas de soldadura y aplicación. *Técnicas de soldadura y aplicación*. Universidad Nacional Autónoma de México, CDMX
- Fajardo, Belén. 2015. *Materiales de uso técnico*. I.E.S. Villalba Hervás, s.l : 2015.



Higley, J. E., & Uicker, Jr, J. J. (1998). *Teoría de máquinas y mecanismos*. México: McGraw-Hill.

Zertuche., j. U. (2011). *Recubrimiento superficial por soldadura disminuyendo el*. Saltillo, Coahuila: corporación mexicana de investigación en materiales.

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Luis Fernando Díaz Hernández: Ingeniero Mecánico egresado de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del IPN.

Juan José Arenas Romero, Ingeniero Metalúrgico egresado de la Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas del IPN, Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecánica orientación Diseño, egresado de la Sección de Estudios de Posgrado de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del IPN.

Jesús García Lira, Ingeniero Metalúrgico egresado de la Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas del IPN, Maestro en Ingeniería, egresado de la División de Estudios de posgrado de la Facultad de Ingeniería de la FES Cuautitlan, de la UNAM

Martin Castillo Sánchez, Ingeniero Mecánico egresado de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del IPN. Doctor en Ciencias egresado de la Sección de Estudios de Posgrado de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del IPN, Unidad Zacatenco.





Shot Peening utilizado en componentes sujetos a esfuerzos de flexión y torsión

García-Lira Jesús*, Arenas Romero Juan José*, García Sotuyo Eduardo*

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es dar a conocer el tratamiento de Shot Peening, demostrando su influencia sobre los materiales metálicos induciendo esfuerzos residuales de compresión en la superficie de los materiales. Uno de los principales beneficios que aportan estos tratamientos superficiales es que se introduce un campo de esfuerzos residuales de compresión en las cercanías de la superficie, zona donde ayuda a aumentar la fatiga apareciendo altos valores de tensiones como consecuencia del contacto. Se darán a conocer los múltiples usos en la industria, particularmente en los componentes que esta sujetos a esfuerzos de flexión y torsión como en muelles, balancines, uniones soldadas, piezas de aeronaves, ejes de transmisión, árboles de elevas, barras de torsión, etc.

ABSTRACT

The objective of this work is to publicize the Shot Peening treatment, demonstrating its influence on metallic materials, inducing residual compression stresses on the surface of the materials. One of the main benefits provided by these surface treatments is that a field of residual compressive stresses is introduced in the vicinity of the surface, an area where it helps to increase fatigue, with high stress values appearing as a result of contact. The multiple uses in the industry will be disclosed, particularly in components that are subject to bending and torsion efforts such as springs, rockers, welded joints, aircraft parts, transmission shafts, lift shafts, torsion bars, etc.

Keywords: Shot Peening, fatigue, compression, surface, industry.

1. INTRODUCCIÓN

El Shot Peening o granallado es un procedimiento de plastificación en frío que consiste en martillar la superficie de la pieza con pequeñas bolas esféricas. Cada bola deja un impacto sobre la superficie de forma redondeada como si fuese un minúsculo martillo. Para que se forme esa huella, es necesario que la capa esté deformada en la superficie, figura 1. Bajo la superficie, el material comprimido intenta volver a su volumen inicial, creando así

tensiones de compresión de fuerte amplitud. El recubrimiento de las huellas permite obtener un esfuerzo residual de compresión isotrópica y uniforme [1].

Cada impacto individual origina una pequeña huella, que produce el aplastamiento de los granos superficiales del material, que se deforman, comprimiéndose entre sí, y provocando la aparición de un campo de tensiones de compresión paralelo a la superficie de la pieza. Cuando la totalidad de la superficie esté cubierta por estos pequeños impactos, se creará un campo de esfuerzos de compresión uniforme.

Existen una multitud de parámetros que influyen en el tratamiento de Shot Peening, que a su vez interaccionan entre sí como la velocidad de proyección de la granalla, ángulo de impacto, flujo másico de granalla, etc. [2-4]. La intensidad del flujo de la energía del chorro de proyectiles que impacta contra la superficie del material genera los esfuerzos de compresión. Este proceso hoy en día está perfectamente estandarizado y es reconocido y aceptado en todo el mundo.



Figura 1. Huella formada por el impacto en el proceso de Shot Peening

Cabe señalar que el proceso de Shot peening también puede modificar el acabado superficial del material tratado, efecto que en algunas ocasiones juega a favor y otras ocasiones en contra del esperado aumento de la vida a la fatiga. Si el proceso de Shot peening está bien diseñado, este jugará un papel importante a favor que, en contra, ya que en situaciones prácticas cuando un componente falla debido a fatiga o a corrosión bajo tensión, la rotura suele tener su origen en la superficie o en sus cercanías, [5] especialmente bajo cargas de flexión o torsión, donde la mayor tensión se induce en la superficie de la pieza, figura 2.

* Sección de Estudios de Posgrado e Investigación (SEPI), Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME). Unidad profesional, AZCAPOTZALCO, Av. de las Granjas No. 682, Col. Sta. Catarina Azcapotzalco, C.P. 02550, México. jgarcialira@gmail.com. jjarenasr@gmail.com

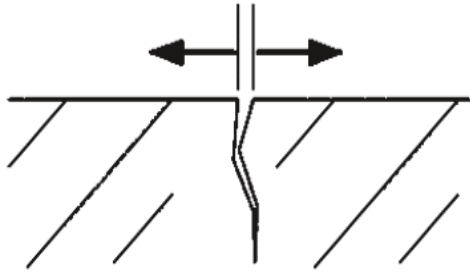


Figura 2. Iniciación de Grieta y Propagación. Bajo Tensión de Tracción.

El Shot Peening es el método más económico y el más práctico para introducir esfuerzos residuales de compresión. Por lo tanto, el shot peening se utiliza principalmente para luchar contra la fatiga en los materiales metálicos, [6]. Las siguientes indicaciones se basan en la fatiga de los metales y a su representación típica, la figura 3 se observa en la curva la duración de vida con arreglo a la tensión aplicada en los metales.

1. El cargamento a fatiga está formado de decenas de miles hasta millones de ciclos de sollicitaciones repetitivas. Las sollicitaciones crean tensiones de tensión aplicadas que estiran la superficie y tienden a desgarrarla.
2. Una reducción lineal de la tensión de tracción aplicada induce un aumento exponencial de la duración de vida y de la cantidad de ciclos a fatiga. La curva (figura 4) muestra que a 810 MPa la reducción del cargamento de un 32% ocasiona un aumento de la duración de vida de un 300% (+150 000 ciclos).

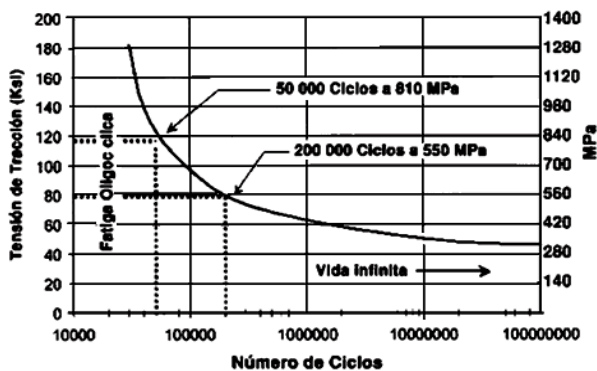


Figura 3. Duración de vida en función de la tensión Aplicada

1.1. Parámetros que influyen en el tratamiento de shot peening

Las características del material de la pieza a tratar influyen de manera considerable a la hora de elegir los parámetros del tratamiento, por lo que el resultado de este tratamiento depende de las características de la máquina y de los proyectiles seleccionados, así como del comportamiento mecánico del material tratado.

Los tres parámetros fundamentales que se utilizan para caracterizar los tratamientos de shot peening son el tipo de proyectiles que se

van a disparar, siendo su geometría, dimensiones, naturaleza y dureza, la intensidad con la que se va a llevar a cabo el tratamiento y la cobertura del mismo.

La eficacia del tratamiento radica en la correcta elección de cada uno de los tres parámetros anteriormente mencionados y que serán desarrollados más ampliamente a continuación.

a). Tipos de bolas

El tipo de proyectil o bola utilizados en el tratamiento de shot peening suele mostrar la forma de esferas, que pueden ser de acero, cerámica e incluso vidrio, figura 4. Normalmente se suele usar proyectiles lo más esféricos posibles, ya que, de otro modo, por ejemplo, las formas angulares; al impactar con la superficie a tratar podrían arrancar fragmentos de material que podrían incluso disminuir la vida a la fatiga.



Figura 4. Bolas de acero clasificado según un número característico normalizados según la norma SAE en el Standard SAE J444

También se realiza un tratamiento doble de shot peening de acabado por vibración con el objeto de mejorar la resistencia a la fatiga de los aceros y este consiste en proyectar proyectiles en trozos de alambre que se lanzan sucesivamente sobre placas muy duras de manera que se acondiciona y se redondea, este tipo de proyectil, es más resistente a los impactos que el de bola pero de cualquier manera, su tamaño va disminuyendo con el tiempo, por lo que es importante también separar continuamente los proyectiles deteriorados, figura 5.



Figura 5. Bolas de acero de alambre cortado (cut wire)



b). Granalla de fundición de hierro esférico

Comprende granallas de fundición gris, blanca y maleable, se utilizan en aquellos casos donde se requiere efectuar un trabajo de shot peening de bajo costo inicial. Esto se debe al bajo costo relativo de estas granallas, a pesar de tener una vida útil muy inferior a las del acero debido a su mayor fragilidad. En cuanto a las granallas de fundición nodular se utilizan en escala muy limitada pues debido a su dureza las intensidades logradas son pobres y además dejan residuos de grafito en las piezas granalladas.

c). Microesferas de vidrio (glass bead) o cerámica

Se utilizan para conformado de chapas delgadas, logrando valores de intensidad bajo. Se utilizan para hacer shot peening en chapas de acero inoxidable o materiales no ferrosos que no puedan ser contaminados con abrasivos de acero al carbono.

1.2. Efecto del shot peening

Con ayuda de equipo de difracción de rayos X, es utilizado para la eliminación de material en la superficie y así poder medir las tensiones que se han generado con el shot peening obteniéndose así un perfil de esfuerzos residuales, [7] producidos por el proceso de shot peening; figura 6, este perfil de tensiones tiene tres parámetros característicos que se definen de la siguiente manera:

- Tensión en la superficie; la tensión de compresión residual generada en la superficie de la muestra, no suele ser nunca la tensión máxima generada que suele aparecer a una cierta distancia de la superficie.
- Tensión de compresión máxima; es el valor absoluto máximo que alcanza la tensión residual de compresión. Suele aparecer a sólo unos pocos micrómetros de la superficie.
- Profundidad de la capa comprimida; es la profundidad de la capa que ha quedado sometida a tensiones residuales de compresión. Más allá de este punto aparecerán tensiones de tracción, también en este punto aparecerán tensiones de tracción, que equilibran a las anteriores. La profundidad de esta capa aumenta al hacerlo la energía de los proyectiles en el momento del impacto. Cuanto mayores sean las tensiones de compresión y más profunda sea la capa citada, mayor será la resistencia a la propagación de grietas de fatiga.

La dureza del material influye en las tensiones máximas de compresión generadas como en la profundidad que alcanzan las mismas.

Debe tenerse siempre en cuenta que tras aplicación de un tratamiento de shot peening sobre una superficie, la tensión resultante que actuará sobre la misma durante su servicio bajo cargas mecánicas será la suma de la tensión [7,8].

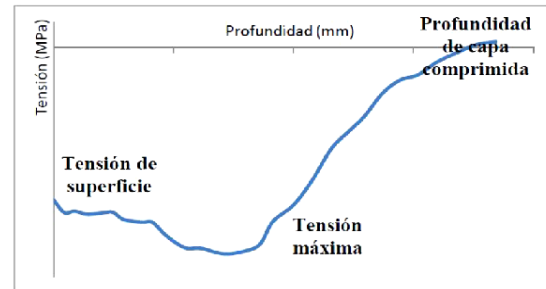


Figura 6. Perfil de tensiones residuales

La figura 7 se observa una barra sometida a flexión en tres puntos, donde la tensión máxima se localiza en la superficie de la barra. Por otro lado, la curva que se marca en trazo discontinuo, representa la tensión residual que se ha introducido en un tratamiento de shot peening. Finalmente, la curva mostrada en trazo continuo representa la tensión resultante de sumar ambas

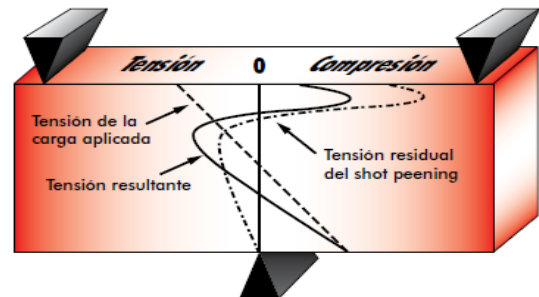


Figura 7. Tensión Resultante Sobre una Barra Shot Peening con una Carga Externa

Observando la figura 7, se puede ver que el tratamiento de shot peening se encarga de introducir una tensión de compresión localizada en la región superficial de la barra de gran amplitud. Los tratamientos de shot peening son especialmente efectivos, por un lado, ante cargas de flexión y torsión, ya que éstas dan lugar a tensiones locales máximas en las superficies de los componentes [9] y, por tanto, cuando en la superficie de los componentes existen concentradores de tensión de tipo geométrico, como pueden ser agujeros, estriados, entallas, etc., que pueden dar lugar a fuertes aumentos locales de la tensión actuante.

Por lo tanto, se puede decir que el tratamiento de shot peening es especialmente adecuado para tratar materiales de altas características mecánicas, ya que la tensión de compresión generada aumenta al hacerlo la resistencia mecánica del material y además son estos materiales de alta resistencia los más susceptibles a las acciones de fatiga.

1.3. Rugosidad

Uno de los efectos más visibles de un tratamiento de shot peening es la modificación del acabado superficial del material tratado en virtud de las huellas generadas por cada uno de los impactos, [11].



La rugosidad de la superficie tratada por shot peening se puede definir como el conjunto de irregularidades o imperfecciones de la superficie real definidas en una sección donde los errores de forma y las ondulaciones han sido eliminados [12].

1.4. Equipo para Shot Peening

Los equipos utilizados para efectuar Shot Peening son esencialmente similares a los empleados para otras tareas de granallado, con el agregado de una instalación auxiliar que permite realizar el más estricto control de los parámetros de ejecución, figura 8. En cuanto a la impulsión de la granalla hay dos métodos utilizados a saber:

- i). El empleo de una turbina que impulsa la granalla a alta velocidad mediante una combinación de fuerzas radial y tangencial. Las ventajas del método incluyen la facilidad en el control de la velocidad y la alta capacidad de producción.
- ii). El uso de aire comprimido en un flujo a alta velocidad como medio de arrastre e impulsión de las partículas [13].



Figura 8. Equipos de Shot Peening

2. MATERIALES Y METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Como metodología experimental se darán ejemplos típicos del shot peening o granallado, un caso particular dentro de la gama del granallado, mediante el cual se inducen tensiones de compresión en una superficie metálica, exponiéndola a un chorro de partículas esféricas a alta velocidad y manteniendo controlados los parámetros de la operación.

Durante el granallado, además de producir el efecto mencionado se limpia la superficie del material y como una tarea normal de

granallado, pero éste es sólo un efecto secundario del proceso, siendo el propósito básico el incremento de la resistencia a la fatiga del material. Acción de martillado con partículas esféricas (shot peening).

Cuando la granalla, de forma esférica, es impulsada en un flujo de alta velocidad, impacta sobre la superficie metálica conformando en la misma un perfil superficial constituido por valles y crestas redondeadas y productos por la deformación plástica del metal durante el impacto. Dicha deformación se extiende entre los 50 y 250 micrones de profundidad. [14,15].

El efecto obtenido luego del granallado constituye el aplastamiento de los granos metalográficos de la superficie del metal. Con ello, se produce dos efectos:

- Los granos se ensanchan comprimiéndose entre sí y provocando la aparición de tensiones de compresión paralelas a la superficie. Estas tensiones de compresión anulan tensiones residuales inducidos en procesos anteriores como mecanizado, tratamiento térmico, conformación plástica, etc. Y además se oponen a toda sollicitación a la tracción a que sea sometida en una utilización posterior.
- Como efecto secundario al ensancharse los granos cubren los espacios intergranulares reduciéndolos considerablemente y con ello la velocidad de corrosión galvánica.

En resumen, el shot peening aumenta la resistencia a la fatiga particularmente en resortes, elásticos, flejes, barras estabilizadoras de coches, engranajes bielas, soldaduras, árboles de levas y como efecto secundario produce un aumento de la resistencia a la corrosión, la eliminación de esfuerzos residuales induciendo una tensión de compresión uniforme en toda la superficie de las piezas y además de limpiarla mediante el granallado, la figura 9, se dan algunas aplicaciones.



Partes automotrices



Piezas varias y Soldadura



Engranajes y cremalleras

Figura 9. Piezas con proceso de shot peening o granallado

2.1. Medición de los esfuerzos residuales

La medición de los esfuerzos residuales en el shot peening es muy importante ya que a partir de los valores obtenidos se puede controlar las variables para obtener un adecuado proceso. Estas mediciones del esfuerzo residual se pueden obtener a partir de medición directa y medición indirecta. Además se pueden clasificar en métodos de ensayo destructivo (Hole drilling, ring core, seccionado, entren otros) y no destructivos (Difracción de rayos X, difracción de neutrones, métodos magnéticos y métodos de ultrasonido), [12,13].

Factores como la destrucción o no de la muestra, el costo de los equipos, la precisión del análisis, el tiempo de realización de las pruebas y la profundidad del análisis, son los más importantes para la selección del método adecuado de medición de esfuerzos residuales.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El comportamiento de los metales ante el proceso de shot peening de los aceros con altas características tienen una amplitud de tensión residual inducida por este proceso. Los materiales los más resistentes/duros son también los más quebradizos y sensibles al efecto de entalla, estos defectos pueden ser superados por el shot peening autorizando el empleo de metales con muy altas características para aplicaciones de fatiga.

Por ejemplo, los trenes de aterrizaje aeronáuticos están fabricados a menudo de acero y aplicando shot peening obtendrá resistencias

que van de 2000 MPa o más, así como componentes de la industria minera, varillas de pistones, muelles de tracción y torsión

La figura 10, establece le relación entre el shot peening y el uso de materiales de varias características. Sin shot peening, la resistencia óptima a la fatiga de los aceros mecanizados se sitúa al alrededor de 30HRc. A niveles de resistencias más importantes, los metales pierden resistencia a la fatiga por causa de su gran sensibilidad a las entallas y de su fragilidad. Sumando las tensiones residuales de compresión, la resistencia a la fatiga de los metales aumenta en proporción con el aumento de su resistencia/dureza. A 52 HRc, el límite de fatiga entre materiales con shot peening sube a 990 MPa con el doble del límite de materiales lisos/polidas sin shot peening. [1-4].

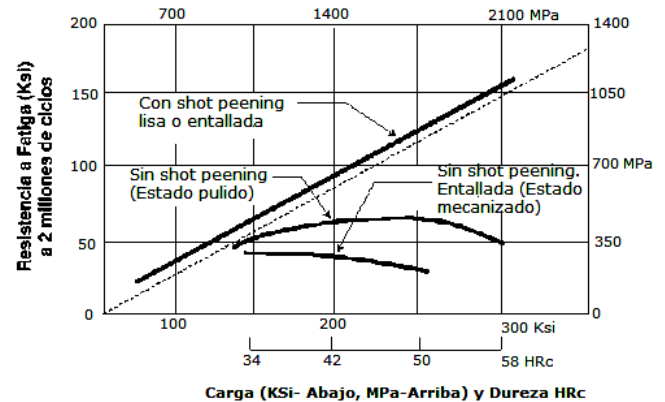


Figura 10. Resistencia a Fatiga en Función del límite de Rotura

Las aplicaciones típicas que toman ventaja de la óptima resistencia a la fatiga de los aceros con alta resistencia/dureza son los utilajes portátiles neumáticos y de percusión, figura 12. Además, el comportamiento a fatiga de las piezas Shot Peenizadas no se encuentra afectado por las entallas pequeñas que tienen un efecto muy negativo sobre los aceros con altas características [11].



Figura 11. Piezas con alta resistencia a la fatiga (biela)

La cobertura es definida como el porcentaje de la superficie que ha sido impactada por el proceso de shot peening por lo menos una vez con respecto a la superficie inicial de la pieza. Sin embargo, es muy complicado obtener mediciones de cobertura mayores de un 98%, por lo tanto, se denomina cobertura total o completa a un



valor de cobertura de por lo menos un 98% se refiere a la huella que deja la bola a ser impregnada en la superficie del material, esto se observa en la figura 12 la diferencia entre una cobertura total y una parcial aplicando el tratamiento de shot peening, [12-15].

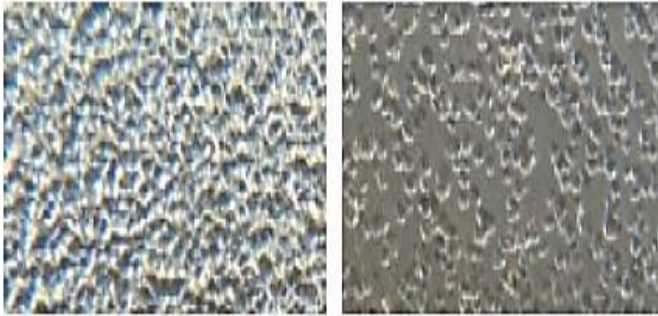


Figura 12. Cobertura completa y parcial de Shot Peening en superficies de los metales.

La determinación de la cobertura se realiza en la respectiva área a realizar el shot peening, estas áreas incluirán regiones con formas que son de difícil acceso y la inspección visual es usada con una magnificación superficial de 10X a 30X. Cuando la cobertura visual con aumento de 10X a 30X no es limpia, es recomendable utilizar un método alternativo como son los líquidos penetrantes.

4. CONCLUSIONES

Podemos concluir lo siguiente:

El shot peening es una tecnología especial de tratamiento de superficie del campo de granallado en las piezas mecánicas, para incrementar la resistencia a la fatiga de los componentes sometidos a fuerte tensión.

El shot peening es un proceso en frío donde la superficie del componente es granallada esférica y esta, funciona como un pequeño martillo que, de forma controlada y siguiendo parámetros bien definidos, genera una compactación superficial y bajo la superficie, el material comprimido intenta volver a su volumen inicial creando así, tensiones de compresión de fuerte amplitud reduciendo notablemente la posibilidad de roturas del material

El abrasivo utilizado, puede ser granalla de acero al carbono, granalla de acero inoxidable, hierros colados, cerámica o microesferas de vidrio.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- [1] Horger; Mechanical and Metallurgical Advantages of Shot Peening – Iron Age Reprint 1945
- [2]. Hatano and Namitki; Application of Hard Shot Peening to Automotive Transmission Gears, Special Steel Research Laboratory, Daido Steel Company, Ltd., Japan.
- [3]. Challenger; Comparison of Fatigue Performance Between Engine Crank Pins of Different Steel Types and Surface

Treatments, Lucas Research, Center, Solihull, England, July 1986

- [4]. Properties and Selection, Metals Handbook, Eighth Edition, Vol. 1, pp. 223-224.
- [5]. Jackson and Pochapsky; The Effect of Composition on the Fatigue Strength of Decarburized Steel, Translations of the ASM, Vol. 39.
- [6]. Bush; Fatigue Test to Evaluate Effects of Shot Peening on High Heat Treat Steel - Lockheed Report No. 9761.
- [7]. <https://dir.indiamart.com/impcat/shot-peening-services.html>
- [8]. Gassner; Decarburization and Its Evaluation by Chord Method, Metal Progress, March 1978.
- [9]. Keough, Brandenburg, Hayrynen; Austempered Gears and Shafts: Tough Solutions, Gear Technology March/April 2001.
- [10]. Palmer; The Effects of Shot Peening on the Fatigue Properties of Unmachined Pearlitic Nodular Graphite Iron Specimens Containing Small, Cast Surface Imperfections, BCIRA Report #1658, The Casting Development Centre, Alvechurch, Birmingham, UK.
- [11]. Oshida and Daly; Fatigue Damage Evaluation of Shot Peened High Strength Aluminum Alloy, Dept. of Mechanical and Aerospace Engineering, Syracuse University, Syracuse, NY
- [12]. Technical Review, Progress in the Application of Shot-Peening Technology for Automotive Engine Components, Yamaha Motor Co., Ltd., 1998.
- [13]. McGann and Smith; Notch Low Cycle Fatigue Benefits from Shot Peening of Turbine Disk Slots.
- [14]. Sonsino, Schlieper, Muppmann; How to Improve the Fatigue Properties of Sintered Steels by Combined Mechanical and Thermal Surface, Treatments, Modern Developments in Powder Metallurgy, Volume 15 - 17, 1985.
- [15]. Link, Kotthoff; Suitability of High Density Powder Metal Gears for Gear Applications; Gear Technology, January/February 2001.
- [16]. O'Brian; Impact and Fatigue Characterization of Selected Ferrous P/M Materials, Annual Powder Metallurgy Conference, Dallas, TX. May 1987.

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Jesús García Lira: Ingeniero Metalúrgico egresado de ESQIE del Instituto Politécnico Nacional, Maestro en ciencias en Ingeniería Metal Mecánica, UNAM y Candidato a Doctor en Ciencias por la SEPI ESIME IPN. jgarcialira@gmail.com jjarenasr@hotmail.com.mx

Juan José Arenas Romero: Ingeniero Metalúrgico egresado de ESQIE del Instituto Politécnico Nacional, Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecánica SEPI ESIME IPN. jgarcialira@gmail.com, jjarenasr@hotmail.com.mx

Eduardo García Sotuyo: Ingeniero Mecatrónica, egresado de la Universidad Politécnica, Doctor en Tecnología Avanzada. jgarcialira@gmail.com, jjarenasr@hotmail.com.mx



Soldadura disímil de un acero al carbono y acero inoxidable austenítico

García-Lira J¹, Castillo Sánchez Martín², Arenas Romero Juan José¹

RESUMEN

En este trabajo se presenta la investigación realizada para conocer la soldabilidad y su comportamiento microestructural y propiedades de uniones disímiles entre los aceros al carbono y acero inoxidable austenítico 310 por soldadura eléctrica SMAW (del inglés Shielded metal arc welding), soldado a bisel. Las muestras del metal base y las soldadas fueron caracterizadas por microscopía óptica, posteriormente se efectuaron ensayos destructivos, dureza Vickers, tanto al metal base como los aceros soldados con electrodo revestido. Presentándose durezas aceptables tanto en la zona afectada por el calor (ZAC), específicamente en la línea entre el cordón de soldadura y los aceros inoxidable y al carbono, encontrándose inclusiones entre los dos aceros y la soldadura.

ABSTRACT

This paper presents the research carried out to know the weldability and its microstructural behavior and properties of dissimilar joints between carbon steels and austenitic stainless steel 310 by electric welding SMAW (Shielded metal arc welding), welded to bevel. The samples of the base metal and the welded ones were characterized by optical microscopy, later destructive tests were carried out, Vickers hardness, both on the base metal and on the steels welded with a coated electrode. Presenting acceptable hardness both in the zone affected by heat (ZAC), specifically in the line between the weld bead and the stainless and carbon steels, finding inclusions between the two steels and the weld.

Keywords: Steels, structural steel, welding, Vickers hardness, mechanical properties.

1. INTRODUCCIÓN

¹INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

Sección de Estudios de Posgrado e Investigación (SEPI), Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME). Unidad profesional, Azcapotzalco, Av. de las Granjas No. 682, Col. Sta. Catarina Azcapotzalco, C.P. 02550, México. jgarcialira@gmail.com, jjarenas@gmail.com.

²INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

Sección de Estudios de Posgrado e Investigación (SEPI), Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME). Edificio 5. 2do Piso, Unidad Profesional Adolfo López Mateos "Zacatenco" Col. Lindavista, C.P. 07738, México, D.F. México. Avinfer66@gmail.com

En la actualidad el creciente uso de la soldadura por fusión de materiales disímiles, tanto en producción como en mantenimiento, conlleva la necesidad de optimizar el uso de los materiales según sus propiedades específicas. Por tanto, esta investigación pretende formar sobre los distintos criterios de selección de materiales de aporte y la factibilidad de la soldadura entre materiales con diferencias en su composición o propiedades.

Consideremos como materiales disímiles a aquellos que son químicamente diferentes como en el caso de la unión de un acero inoxidable y acero al carbono o de estructuras metalúrgicas distintas y además las distintas combinaciones que pueden ser entre metales base, metal de aporte o metal de soldadura.

La soldadura es un método de trabajo cuyo objeto es unir metales, a través de técnicas razonablemente económicas, otorgando a la unión propiedades adecuadas y compatibles con el metal base [2]. Hoy en día, unir metales disímiles es indispensable en la fabricación y la construcción de equipos y maquinaria avanzada. La soldadura de metales disímiles implica soldadura de dos tipos diferentes de aleaciones de metal. En la actualidad existe una buena cantidad de aplicaciones industriales de este tipo de uniones como; en la industria de refrigeración, en la industria automotriz equipos gasodomésticos. Motos y navieras. Todo tipo de evaporadores, radiadores, condensadores en refrigeración y aire acondicionado, Neveras, Termocuplas, etc. [1-2].

En la fabricación de equipos y máquinas destinados a la transformación de energía, es cada vez más frecuente las aplicaciones de soldaduras en aceros inoxidables y aceros al carbono. Esto conlleva a que se tenga que investigar cuidadosamente y descubrir las mejores condiciones para su soldabilidad.

Cuando la unión de los metales disímiles se realiza por un proceso de soldadura por fusión, la aleación entre los metales base y metal de aporte, cuando éste es usado es importante y requerirá una mayor consideración, dado que el metal de soldadura resultante puede comportarse muy diferente a uno o a ambos metales base.

La unión de metales con importantes diferencias en sus propiedades químicas, mecánicas y físicas, puede presentar problemas durante y después de la soldadura. La combinación puede ser de dos o tres metales diferentes, siendo uno de ellos el metal de aporte, [3].

En la práctica la soldadura en campo; se utiliza en nuevas instalaciones, reparaciones, conexiones y estructuras [3], y de



manera específica, en el campo industrial de producción, refinación y transporte de petróleo, procesos de gran presencia en la industria, y más importante productora y refinadora de hidrocarburos. Estas operaciones son realizadas usualmente mediante técnicas de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW: Shield Metal Arc Welding) empleando un metal de aporte de composición similar al metal base [4].

Cabe señalar que, para saber la composición química de un metal de aporte depositado, la mejor forma es acudir al catálogo de productos del fabricante, mientras que para la composición química de los materiales base, es necesario revisar normas que los clasifican (SAE, AISI, ASTM, ASME).

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

1. Metal base. Se verificó la composición química de los metales base, utilizando el método de espectrofotometría por absorción atómica. La tabla 1 se muestran las composiciones químicas de los materiales.

Tabla 1. Composiciones químicas de los materiales base y del metal de aporte (% peso).

Material	C	S	Cr	Ni	Mn	Mo	Si
A36	0.25	0.008	0.001	--	0.45	0.034	0.077
310	0.25	0.030	24.0	22.0	2.0	--	1.75

2. Material de aporte: el material de aporte que se usó para el proceso de soldadura fue un electrodo AWS E7018 sus características se muestran en las tabla 2.

Tabla 2. Composición química bajo normatividad AWS (Ficha técnica INFRA)

C	S	Cr	Ni	Mn	Mo	Si	V	P
0.15	0.035	0.20	0.30	1.60	0.30	0.75	0.08	0.035

3. Preparación de juntas. Las juntas se diseñaron asegurando un libre movimiento térmico, para no exponer al material a una fijación excesiva durante el ciclo de soldadura, estas se plantearon para el proceso de soldadura SMAW, en función del espesor de la platina de 1/4", según código ASME sección IX [5], como se muestra en la figura 1, y con abertura de raíz de 1/8", con el fin de asegurar una penetración satisfactoria del metal de aporte. Figura 1.

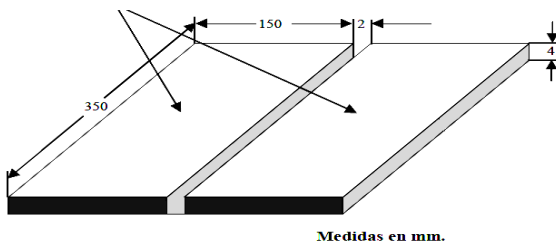


Figura 1. Junta del material utilizado para la unión disímil

4. Aplicación de la Soldadura

Se realizaron las especificaciones al procedimiento de soldadura WPS, (Welding Procedure Specification), tomando en consideración el tipo de proceso de soldadura, diseño de la unión, metales base, metal de aporte, posición de la soldadura, las características eléctricas con las cuales se suelda, y precalentamiento, figura 2.



Figura 2. Probetas soldadas

5. Ensayos destructivos (Tensión). Estos ensayos son pruebas a las que se someten los materiales con el fin, de comprobar sus propiedades como Tracción ASTM E8. [9], preparación metalografía ASTM E3. [11], y determinación del tamaño de grano ASTM E112. [12], para verificar la calidad de dicho material y hacer una correcta aplicación de ellos, figura 3. Estos ensayos son importantes ya que nos muestran en una manera proporcional, como los materiales se desempeñarían en distintas situaciones.



Figura 3. Probetas maquinadas para ensayo a la tensión maquinadas de acuerdo norma ASTM E8M método estándar

6. Caracterización microestructural

Se cortaron muestras en sentidos axial y transversal de las placas de los metales base con dimensiones (10 x 10 x 5 mm), con el objeto de descartar diferencias microestructurales en relación al



sentido de conformado de la placa. De cada probeta soldada, se cortaron muestras representativas de la junta soldada conteniendo a los metal base del acero al carbono, metal base del acero inoxidable, metal del material de aporte y la ZAC.

Las muestras se prepararon metalográficamente de acuerdo al método de pulido mecánico convencional de acuerdo con la norma ASTM E3- 2001 [10]. El pulido final se realizó con alúmina de 0.5 μm . Las muestras fueron atacadas con el reactivo Vilella (45 ml Glicerol, 15 ml Ácido Nítrico, 30 ml Ácido Clorhídrico) para el acero inoxidable y con Nital al 3% (100 ml Alcohol Etílico al 96% +10 ml de Ácido Nítrico) para el acero al carbono, mientras que la unión soldada fue atacada con Nital al 3% para evidenciar la interfase entre el acero al carbono y el acero inoxidable, posteriormente con el reactivo Vilella para conformar el perfil microestructural de la unión soldada. Todas las muestras se analizaron mediante un microscopio óptico, marca Olympus, modelo CX21.

7. Microdureza

La microdureza del material fue obtenida con un durómetro Vickers digital marca Mitutoyo, con una carga de 1 kg. Se obtuvieron microdureza en tres diferentes niveles a través del espesor de la muestra [12]. La distancia entre mediciones fue de 0.5 mm, realizándose a lo largo y en el centro del metal y ancho de la soldadura cumpliendo así con las recomendaciones de la norma ASTM E384-99.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Microestructura

La figura 4, muestra una microestructura de los metales base a 100X muestra una micrografía del material base del acero al carbono A36, conteniendo ferrita y perlita. La figura 5 muestra el acero inoxidable austenítico 310, se puede observar una microestructura compuesta de granos equiaxiales de austenita.



Figura 4. Microestructura acero A36 original

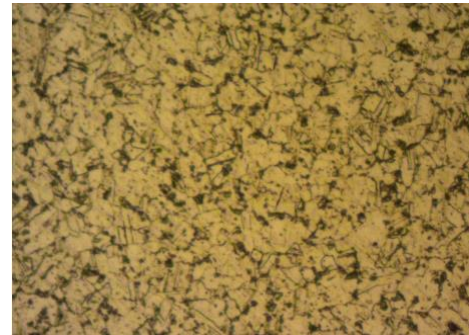


Figura 5. Acero inoxidable 310

Como regla fundamental, el metal de aporte para una soldadura debe ser de igual o de mayor aleación al metal base. Así, los aceros al carbón pueden ser soldados con un metal de aporte inoxidable, mientras que, un acero inoxidable no puede ser soldado con un metal de aporte de acero al carbón como el tipo E6013. Por lo anterior, veremos que, para la soldadura entre un acero al carbón, y un acero inoxidable, la figura 6 se muestra la soldadura de una soldadura disímil con el proceso de soldadura eléctrica la cual se utilizó un electrodo E7018.

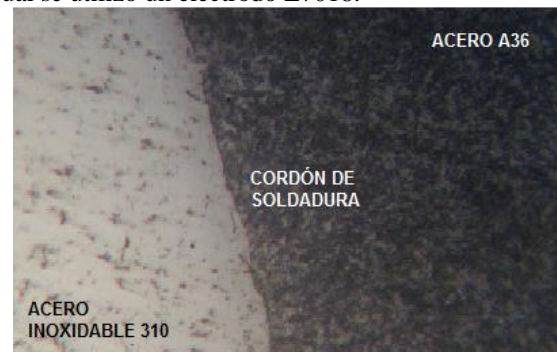


Figura 6. Microscopia de los metales base y cordón de soldadura

Ensayo de tensión

La caracterización de los materiales base y aporte fue hecha con la finalidad de definir sus características y propiedades originales, las cuales son de gran importancia puesto que de éstas depende en gran parte la calidad final de la junta de soldadura realizada. Además, con los resultados obtenidos en los ensayos hechos en esta caracterización se pudo corroborar que los materiales empleados satisfacen los requerimientos definidos por la norma.

En las tablas 2, 3 y 4 se presentan los valores obtenidos de las pruebas de tensión, correspondientes a los aceros al carbono A36 y acero inoxidable 304 respectivamente. De igual manera los diagramas de esfuerzo-deformación de



ambos materiales base y de la soldadura aplicada a los materiales, figura 7,8 y 9.

Tabla 2. Resultados obtenidos del ensayo de tensión del acero al carbono A36

Acero A36	Esfuerzo máximo (MPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	% Elongación
Probeta 1	447,200	268,000	38.20
Probeta 2	441,320	273,000	33.00
Probeta 3	439,350	252,000	35.00

Tabla 3. Resultados del ensayo de tensión del acero inoxidable 310

Acero 310	Esfuerzo máximo (MPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	% Elongación
Probeta 1	660,990	320,000	52.00
Probeta 2	678,640	330,000	56.00
Probeta 3	666,880	345,000	56.00

Tabla 4. Resultados del ensayo de tensión de la soldadura aplicada

Acero A36	Esfuerzo máximo (MPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	% Elongación
Probeta 1	420,880	285,000	22.20
Probeta 2	425,410	298,000	23.60

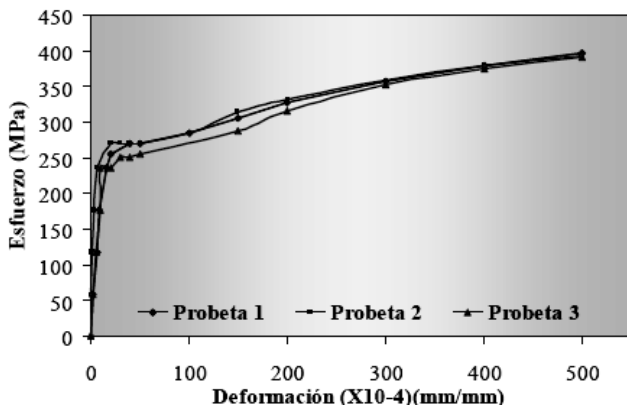


Figura 7. Diagrama esfuerzo – deformación del acero A36

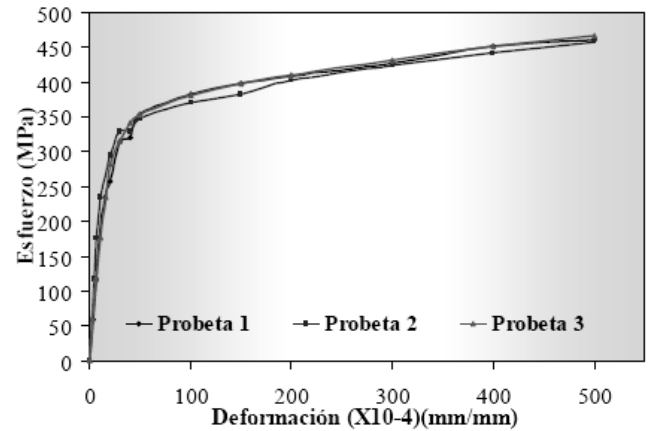


Figura 8. Diagrama esfuerzo – deformación del acero inoxidable 310

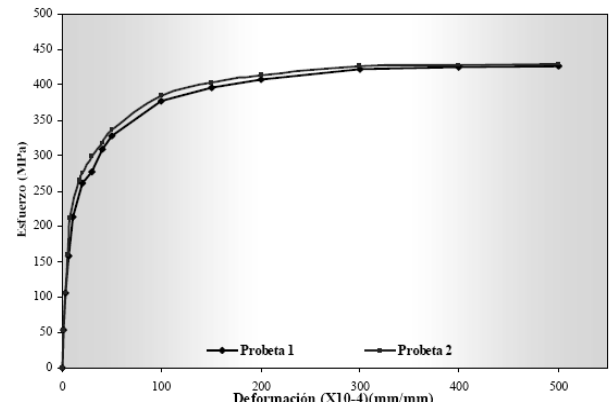


Figura 9. Diagramas esfuerzo - deformación correspondientes a las dos probetas ensayadas de la junta de soldadura.

Al analizar los resultados se observa que, como era de esperarse, la falla ocurrió en la junta, del lado del acero al carbono y no en el cordón de soldadura ni en el acero inoxidable, ya que según la American Welding Society, los aceros inoxidables austeníticos tienen mejores propiedades de ductilidad y resistencia que los aceros al carbono y de baja aleación.

Además, tomando en cuenta que según Howard C. (1992), una buena soldadura entre dos metales distintos es aquella que es tan fuerte como el metal menos resistente de los que se unen puesto que su objetivo es transferir esfuerzos a través de estos, lo observado es positivo ya que garantiza que el metal de soldadura no constituirá el punto débil de la junta.

Ensayo de microdureza

Los resultados obtenidos en el ensayo de microdureza realizado a la junta de soldadura son presentados en la tabla 5 y gráficamente en la figura 10.



Tabla 5. Resultados de durezas obtenidas en la soldadura disímil

Medición	HV acero al carbono A36	HV Acero inoxidable 310
1	135	172
2	136	175
3	135	185
4	140	185
5	136	179
6	130	179
7	125	175
8	125	181

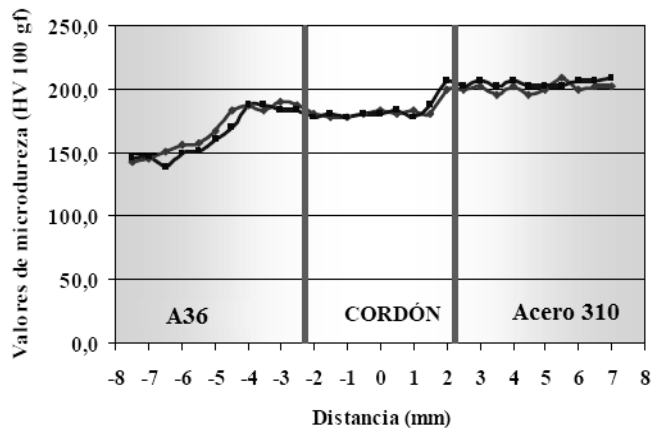


Figura 10. Grafica de durezas obtenidas en la soldadura del material disímil

Inicialmente, en la figura 10, se puede observar que en la zona afectada por el calor del acero estructural ASTM A36, el valor de la dureza se va incrementando conforme está más cerca del cordón de soldadura. Puesto que según Avner S. (1988), las propiedades mecánicas de una aleación dependen de las propiedades de las fases que lo constituyen y de la forma en que estas últimas están ordenadas para formar su microestructura, el incremento de la dureza observado en esta zona de la junta se puede atribuir al aumento del tamaño de los granos perlíticos y son debidos al fenómeno de las altas temperaturas alcanzadas durante la aplicación de la soldadura.

Por esta razón, y debido a que la perlita posee una mayor dureza que la ferrita, al aumentar el tamaño de la fase perlítica conforme

está más cerca del cordón de soldadura en la zona afectada por el calor del citado metal base, el valor de la dureza tendera a incrementarse de la misma manera en esta área.

4. CONCLUSIONES

En la soldadura de aceros inoxidable debe tenerse especial cuidado para que, la microestructura y la composición del cordón de soldadura y la zona afectada por el calor, cambien sustancialmente.

En el diseño de una unión soldada entre el acero inoxidable y aceros al carbón, deben tenerse en cuenta las recomendaciones y los métodos existentes para que dicha unión ofrezca la mejor ductilidad y resistencia mecánica posible.

La unión de los aceros utilizados en esta investigación si cumplen con las especificaciones por norma, seleccionando adecuadamente el metal de aporte, ya que actualmente los fabricantes de electrodos de metales de aporte poseen una amplia soldabilidad, lo cual nos brinda la posibilidad de obtener soldaduras cada vez mejor diseñadas y de mejor calidad.

La unión de soldadura disímil entre los metales base acero A36 y el acero inoxidable 310 cumplió con los distintos criterios de aceptabilidad establecidos por la norma ASME. Por lo que el procedimiento de soldadura diseñado y empleado en esta investigación calificó según el código aplicado.

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- [1]. INDURA S.A. Sistemas y Materiales de Soldadura 1998.
- [2]. Lippold JC, Kotecki DJ. Welding metallurgy and weldability of stainless steels. Ira ed: John Wiley & Sons, Inc. 2005
- [3]. Oates W. y Saitta A. (1998). AWS Welding Handbook. Materials and Applications. Vol. 4. Miami: American Welding Society.
- [4]. ELECTROMANUFACTURAS S.A. Catálogo de Electrodo, 156 páginas, Colombia, 1999.
- [5]. J. Lozano, P. Moreda, C.L. Llorente y P.D. Bilmes. Características de Fusión de Soldaduras GMAW de Aceros Inoxidables Austeníticos. Jornadas SAM 2000 – IV Coloquio Latinoamericano de Fractura y Fatiga, agosto de 2000
- [6]. MONSALBE G, Héctor y otros. Efecto del Amperaje en las Propiedades de Recubrimientos Duros Resistentes a la Abrasión Aplicados por Soldadura. Dyna, Año 71, No 144. Medellín, noviembre de 2004. ISSN 0012-7353.
- [7]. CORTEZ P, Ramón y otros. Estudio de la Soldabilidad y Corrosión del Acero Inoxidable AISI 904L con los Agentes



Utilizados en la Lixiviación del Cobre. Revista Facultad de Ingeniería, U.T.A. Chile, Vol. 12, No 2, 2004.

- [8]. Código ASME sección IX, (2004), pp 3-10, 135-180.
- [9]. Ospina R., Aguirre H., Parra H. (2007). Soldabilidad en Aceros Inoxidables y Aceros Disímiles. *Scientia et Technica* [Revista en Línea], 13(34); 272-278. Disponible:
<http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/849/84934046>.
- [10]. Praxair Engineering, (2003). “Gas Metal Arc Welding of Stainless Steel”. <http://www.praxair.com>.
- [11]. Ospina R., Aguirre H., Parra H. (2007). Soldabilidad en Aceros Inoxidables y Aceros Disímiles. *Scientia et Technica* [Revista en Línea], 13(34); 272-278.
<http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/849/84934046>
- [12]. ASTM E-384-08 “Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials”, Annual book of ASTM Standards, (2002).
- [13]. AVNER, S. (Segunda Edición) 1988. Introducción a la metalurgia física, McGraw-Hill

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Martín D. Castillo Sánchez: Ingeniero Mecánico egresado de ESIME IPN, Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecánica SEPI ESIME IPN, Doctor en Ciencias en Ingeniería Mecánica SEPI ESIME IPN.

Jesús García Lira: Ingeniero Metalúrgico egresado del Instituto Politécnico Nacional, Maestro en ciencias en Ingeniería orientación Metal Mecánica, UNAM y candidato a Doctor en Ciencias por la SEPI ESIME IPN.

Juan José Arenas Romero: Ingeniero Metalúrgico egresado del Instituto Politécnico Nacional, Maestro en Ciencias en Ingeniería SEPI ESIME IPN y candidato a Doctor en Ciencias por la SEPI ESIME IPN.





Elaboración y caracterización de una biopelícula a partir del almidón de la calabaza

Yozlin Adriana Medel Reyes, Pamela Alejandra Muñoz Hernández, Raúl Gómez Gómez Tagle, Mario Luis Chew

RESUMEN

En la actualidad va en aumento el interés por sustituir los polímeros sintéticos, que hasta hoy son utilizados como material de empaque. Los materiales sintéticos garantizan una protección deseada como inhibición de humedad, oxígeno, dióxido de carbono, aroma, migración de lípidos entre otras; para diversos tipos de productos, pero presentan el inconveniente de no tener un fácil reciclado y rápida degradación, por lo tanto, son responsables por la gran cantidad de residuos que se acumulan en el medio ambiente.

El almidón de frutas y hortalizas constituye una fuente importante para la elaboración de biopelículas. Los tubérculos, frutas, semillas entre otros, son principalmente la materia prima para la obtención del almidón, entre las verduras con almidón se encuentran las calabazas. Se ha comprobado que el uso del almidón de calabaza para la elaboración de materiales biodegradables es técnicamente viable ya que les da transparencia y brillo. Así como por su abundancia y bajo consumo en la sociedad.

Los principales almidones de los que se tienen referencia experimental son los de papa, maíz, trigo, arroz, yuca, entre otros.

La finalidad principal de las biopelículas es reducir el consumo excesivo de plásticos derivados del petróleo, los cuales tienen un periodo de degradación muy largo y propician la contaminación debido a la falta de cultura de reciclaje de materiales de esta especie. El Objetivo del proyecto es elaborar biopelículas a partir del almidón de la calabaza a nivel laboratorio, para obtener características muy similares a las películas hechas a partir de polietileno. Caracterizando las propiedades físicas de las biopelículas, y determinando la biodegradabilidad de las biopelículas.

ABSTRACT

At present, interest in replacing synthetic polymers, which until today are used as packaging material, is increasing. Synthetic materials guarantee a desired protection such as inhibition of humidity, oxygen, carbon dioxide, aroma, lipid migration among others; for various types of products, but they have the drawback of not being easy to recycle and rapidly degrading, therefore, they are responsible for the large amount of waste that accumulates in the environment.

The starch of fruits and vegetables constitutes an important source for the elaboration of biofilms. The tubers, fruits, seeds among

others, are mainly the raw material for obtaining starch. These biopolymers are more widely accepted due to their low cost, abundance, and importance due to the nature of the raw material, among starchy vegetables are pumpkins. It has been verified that the use of pumpkin starch for the elaboration of biodegradable materials is technically viable since it gives them transparency and shine. As well as for its abundance and low consumption in society.

The main starches for which there are experimental references are those of potatoes, corn, wheat, rice, cassava, among others.

The main purpose of biofilms is to reduce the excessive consumption of petroleum-derived plastics, which have a very long degradation period and promote pollution due to the lack of a culture of recycling materials of this species.

Biofilms were first observed by Anton van Leeuwenhoek in 1684, when he analyzed samples of microbial plaque obtained from his own teeth. Years later, in 1864, Louis Pasteur also observed them in samples obtained from the walls of barrels where wine was stored; In addition, he proposed that they were the cause of the biotransformation of wine into acetic acid. At the end of the 1980s, the definition of "biofilms" had only been used in environmental microbiology, because their formation had been observed in the pipes that transport drinking water and in the bottom part of ships, mainly.

The objective of the project is to elaborate biofilms from pumpkin starch at the laboratory level, to obtain characteristics very similar to films made from polyethylene. Characterizing the physical properties of biofilms and determining the biodegradability of biofilms.

Palabras claves: biopolímeros, biopelículas almidón, biodegradabilidad, almidón de calabaza

INTRODUCCIÓN

Con el descubrimiento de nuevas fórmulas y tecnologías en la industria del plástico, la obtención de biopelículas es una alternativa viable para la disminución de residuos contaminantes; la facilidad en la adquisición de la materia prima, los bajos costos de esta y su fácil preparación, propicia el aprovechamiento de estas.

En la actualidad va el aumento de interés por sustituir polímeros sintéticos. Los cuales garantizan una protección deseada como la inhibición de humedad, oxígeno, dióxido de carbono, aroma, migración de lípidos entre algunas características inertes, para

Tecnológico de estudios superiores de Coacalco, Ingeniería Química,
Medel Reyes Yozlin Adriana yozlin_adriana.iq@tesco.edu.mx, Muñoz
Hernández Pamela Alejandra pamela_alejandra.iq@tesco.edu.mx, IQI

Raúl Gómez Gómez Tagle raul.iq@tesco.edu.mx asesor, Dr Mario
Luis Chew mario@tesco.edu.mx coasesor.





diversos tipos de productos, pero presentan el inconveniente de no tener un fácil reciclaje y difícil degradación, por lo tanto, son responsables por la gran cantidad de residuos que se acumulan en el medio ambiente.

El almidón constituye una fuente importante para la elaboración de biopelículas comestibles y biodegradables. Los tubérculos, frutas, papas, semillas entre otros son principalmente la materia prima para la obtención de almidón. Estos biopolímeros tienen más aceptación por el bajo costo, abundancia e importancia por la naturaleza de la materia prima, entre las verduras con almidón se encuentran las calabazas.

Se ha comprobado que el uso de almidón de calabaza para la elaboración de biopolímeros es técnicamente viable, proporcionando transparencia y brillo, así como su abundancia y bajo consumo para la sociedad.

Ya se han elaborado biopelículas a partir de polisacáridos como la celulosa, carbohidratos y sus derivados; de proteínas como la gelatina, zeína, gluten; o de lípidos, capaces de producir matrices continuas; las cuales poseen buenas propiedades mecánicas y ópticas, que son utilizados en la industria como material de empaque.

Las biopelículas fueron observadas inicialmente por Antón van Leeuwenhoek en 1684, cuando analizó muestras de placa microbiana obtenidas de sus propios dientes. Años después, en 1864, Louis Pasteur también las observó en muestras obtenidas de las paredes de barriles donde se almacenaba vino; además, propuso que eran las causantes de que el vino se bio-transformará en ácido acético. A finales de los años 1980, la definición de biopelículas únicamente se había utilizado en microbiología ambiental, porque su formación se había observado en los tubos que transportan agua potable y en la parte inferior de los barcos, principalmente.

El procedimiento consiste en obtener el almidón de la calabaza, retirar la cascara, cortar, triturarlo, separar la fibra y obtener el almidón y posteriormente llevarlo a un proceso de gelatinización térmica para obtener una solución plastificante formadora de biopelículas. Con los biopolímeros se obtienen películas con diferentes características.

JUSTIFICACIÓN

El alto uso de derivados del petróleo genera una contaminación ambiental, con lo cual el presente trabajo pretende elaborar una alternativa en la bio-sustentabilidad en la elaboración de biopelículas elaboradas a base del almidón de la calabaza, ya que es un producto natural y biodegradable.

Disminuir la huella del carbono de la reducción de contaminación originada por la cadena de residuo plásticos.

Elaborar y caracterizar las biopelículas, biodegradables de almidón de calabaza.

DESARROLLO DEL TEMA

El almidón está constituido por dos compuestos de diferente estructura. La Amilosa está formada por α -D-glucopiranosas unidas por centenares o miles (normalmente de 300 a 3000 unidades de glucosa) mediante enlaces α -(1 \rightarrow 6). Esta cadena adopta la

disposición helicoidal y tiene sus monómeros por cada vuelta de hélice.

La amilosa es el producto de la condensación de D-glucopiranosas por medio de enlaces glucosídicos a (1,4), que establece largas cadenas lineales con 200-2500 unidades y pesos moleculares hasta de un millón; es decir, la amilosa es una α -D-(1,4)-glucana cuya unidad repetitiva es la α -maltosa Fig. 1.

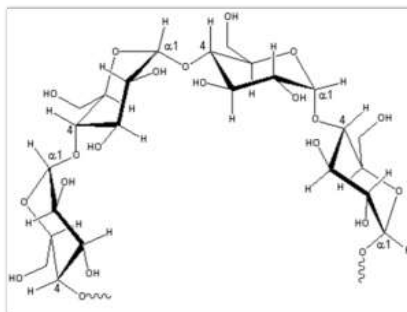


Figura 1.- Estructura química de la amilosa.

La mayoría de los almidones contienen alrededor del 25 % al 30% de amilosa.

La amilopectina: está formada por α -D-glucopiranosas, aunque en este caso conforma una cadena altamente ramificada en la que hay uniones α -(1 \rightarrow 4), como se indica en el caso de la amilosa, y muchos enlaces α -(1 \rightarrow 6), que originan lugares de ramificación cada doce monómeros. Su peso molecular es muy elevado, ya que cada molécula suele reunir de 2000 a 200 000 unidades de glucosa.

La amilopectina Fig 2, se diferencia de la amilosa en que contiene ramificaciones que le dan una forma molecular similar a la de un árbol; las ramas están unidas al tronco central (semejante a la amilosa) por enlaces α -D-(1,6), localizadas cada 15-25 unidades lineales de glucosa.

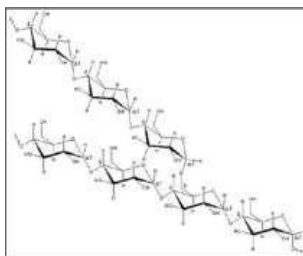


Figura 2.- Estructura química de la amilopectina.



Su peso molecular es muy alto ya que algunas fracciones llegan a alcanzar hasta 200 millones de daltones. La amilopeptina constituye alrededor del 75% de los almidones más comunes. (“Virginia, B., Solano, 2010”).

PROCEDIMIENTO

1. Retirar la cáscara a la calabaza manualmente.
2. Cortar 200 g en trozos pequeños.
3. Colocar en un molino con agua.
4. Moler por tres minutos y posteriormente filtrar.
5. Con el residuo de fibra obtenido del paso 4 repetir los pasos 3 y 4 hasta tener en el filtrado sólo agua, con el fin de recolectar la mayor cantidad de almidón.
6. Dejar precipitar el almidón suspendido en el agua por 8 horas aproximadamente.
7. Decantar para eliminar el agua.
8. Lavar el almidón con 500 ml de agua destilada y filtrar para eliminar la mayor cantidad de fibra de calabaza que pueda contener aún el almidón.
9. Dejar precipitar nuevamente y decantar.
10. Colocar el almidón obtenido en cajas de Petri.
11. Secar el almidón en estufa a 30 °C por 24 horas.
12. Triturar el almidón en un mortero hasta obtener un polvo fino.
13. A continuación, se llevará de nuevo a la maceración con agitación constante de 120 rpm, revisando la temperatura máxima a 60°C
14. Se le va agregando poco a poco el plastificante (glicerina) con agitación hasta obtener lo requerido)
15. Finalmente se deja enfriar y se coloca en una placa de vidrio la mezcla y se lleva al secado de 1 a 5 días máximo y finalmente se obtiene la biopelícula.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los experimentos previos, fueron para determinar las condiciones de elaboración de la biopelícula que tuviera características similares a las del polietileno.

Para esto se ocupó la calabaza zapatillo italiano y después se procedió a remover la cascara de la calabaza para poder picarlas en trozos pequeños y con ayuda de un mortero se molió para que quedara una consistencia tipo papilla. Como se muestran en la Figura 3.



Figura 3.- Muestra.

En la maceración se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 3 obteniéndose las siguientes observaciones:

Tabla 3.- Maceración del almidón

Tiempo min.	Temperatura °C
7min.	35°C
15min.	40°C
18min.	45°C
24min.	50°C
29min.	62°C

Tabla de enfriamiento

T min.	T °C
5min.	62-58°C
10min.	55
15min.	57
20min.	50
25min.	45
30min.	40
35min.	35
40min.	35
45min.	32

- Al momento de realizar la maceración se volvió muy líquido y al momento de bajar la temperatura se volvió muy espeso esto pasa porque cuando se aumenta la temperatura de un sólido o líquido las partículas se mueven mucho más rápido hasta que se separan mientras que si se baja la temperatura las partículas tendrán menos energía.

Comentado [RGGT1]: Citas falta



- El color fue cambiando al momento de realizar la maceración cuando se elevó la temperatura como muestra en la figura 4.



Figura 4. Maceración

En la filtración se muestra en la figura 5 y 6, se obtuvieron las siguientes observaciones:

- En la primera filtración se encontraba la solución más pesada por lo consecuente se tardó más como se observa en la tabla 4.

Tabla 4.- Filtración

1	2	3
57min.; 110ml	42min.; (105ml)	50min.; (100ml)

- Para la filtración dos se observó que ya no costaba tanto trabajo y fue un poco más rápido que la filtración 1.
- En esta filtración fue un poco más tardado, pero fue cambiando de color poco a poco y finalmente se obtuvo la filtración requerida.



Figura 5 y 6. Proceso de filtración

En la preparación de almidón por el método de gelatinización térmica se prepararon a diferentes concentraciones del almidón de la calabaza, utilizando la relación base seca que se refiere a la cantidad de peso de los reactivos (almidón y plastificante) con

respecto al área de la formación de la película dicha ecuación se calcula con la Ec. 1.

$$Rbs = \frac{g \text{ almidon} + g \text{ glicerol}}{\text{area de formacion de biopelícula}} \quad (\text{Ec.1})$$

Donde:

Rbs= relación base seca respecto al peso de los reactivos (almidón y plastificante)

Durante el proceso surge otro factor denominado relación base húmeda (Rbh), que se refiere a la formación del peso de la solución formadora de biopelícula entre el área de formación de ella dicha relación se calcula con la Ec. 2.

$$Rbh = \frac{g \text{ de solución}}{\text{area de formacion de biopelícula}} \quad (\text{Ec.2})$$

Donde:

Rbh= relación base humedad respecto a la formación del peso de la solución formadora de la biopelícula entre el área de esta.

A Continuación, se colocó la mezcla en placas de acrílico para llevarlo al secador.

Obteniendo finalmente la biopelícula que se muestra en la figura 7.



Figura 7. Obtención de la biopelícula

RESULTADOS

Para la elaboración de las biopelículas por el método de la gelatinización térmica realizando una solución de almidón con distintas concentraciones del plastificante, esta reacción se llevó a cabo con agitación constante.

La relación del almidón/plastificante se realizaron de acuerdo con las observaciones, esto se modificó de acuerdo con el contenido del plastificante.

En base a la experimentación observamos que para obtener una biopelícula con buenas propiedades físicas es necesario mantener una temperatura constante esto se refiere a que no se debe de obtener una temperatura mayor a los 80°C, ya que a mayor temperatura se presentaran burbujas y existirá muy poca transparencia.

Se observa que se tiene la misma cantidad de almidón, pero con diferentes cantidades del plastificante.

Con 5ml de la glicerina se mostro mucho mejor y se obtuvo un cambio de color mucho más favorable, a diferencia de 25ml que el color fue muy oscuro y se realizaron burbujas.

CONCLUSIONES

Se logro cumplir varios objetivos el primordial fue el poder elaborar la biopelícula/ plastificante/ calabaza.



Las biopelículas elaboradas por calabaza/plastificante presentan una transparencia correcta y resistencia buena.

Se comprobó que el glicerol es un buen plastificante para ser usado con el almidón de la calabaza, ya que brinda brillo, transparencia y resistencia en las biopelículas.

RECOMENDACIONES

Realizar un estudio sobre diferencias entre la papa, yuca, maíz y explicar cuál es el mejor para la elaboración de las biopelículas.

Poder emplear diferentes proteínas para poder ver si al agregarle una proteína cambie todo.

Poder realizar un estudio de factibilidad económica del almidón/calabaza/plastificante.

Poderlo llevar a cabo a nivel industrial.

Realizar el estudio de la llama, el cómo se comporta

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

Eraso-Cadena, Marcela Patricia; Ríos-Osorio, Leonardo Alberto (2016). Principales Características de Las Biopelículas Relacionadas con Procesos Patológicos Descritos en Humanos en los Últimos 10 Años. Revisión Sistemática. Fundación Universitaria del Área Andina.

Vega, T. J. A., Chávez, C. A. (2009, pp.27-28), Elaboración de Biopelículas a Partir de Almidón de Maíz (Zea Mays), Tesis IQI-ESIQUIE-IPN, Proyecto de Investigación SIP-20090948, México.

Oropeza González, Rafael Antonio, Montes Hernández, Adriana Isabel, Padrón Pereira, Carlos Alberto (enero-junio, 2016). Películas Biodegradables a Base de Almidón: Propiedades Mecánicas, Funcionales y Biodegradación. Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos. V-7-N1, pp 065-093.

Dr. Zobel, H. F. (1988). Molecules to Granule: A Comprehensive. Starch Biosynthesis Nutrition Biomedical, V 40 pp 44-50.

Virginia, B.; Solano, C.A. (2010). Elaboración y Caracterización de Biopelículas a Partir de Almidón De Yuca, Tesis IQI-ESIQUIE-IPN, Proyecto de Investigación, México D.F, pp.10-24.

Méndez, M. (2013, 4 enero). La Calabaza. Scribd. Recuperado 22 de noviembre de 2021.

Reder Gary, V. (2010, 23 febrero). Extracción del aceite de calabaza. Mailxmail. <http://www.mailxmail.com>

Tirado-Gallegos, J. M. (2016). Efecto del Método de Aislamiento y el Estado de Madurez En las Propiedades Físicoquímicas, Estructurales y Reológicas de Almidón De Manzana. Revista Mexicana de Ingeniería Química

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Yozlín Adriana Medel Reyes: estudiante de Ingeniería Química del Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco perteneciente al Tecnológico Nacional de México, Bachillerato incorporado a la UNAM en el área de Ciencias de la Salud.

Pamela Alejandra Muñoz Hernández: estudiante de Ingeniería Química del Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco perteneciente al Tecnológico Nacional de México

Raúl Gómez Gómez Tagle: Ingeniero Químico Industrial egresado de la Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias

Extractivas del Instituto Politécnico Nacional, Especialidad en Automatización Industrial egresado del Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco perteneciente al Tecnológico Nacional de México

Mario Luis Chew Hernández Ingeniero Químico egresado de la Facultad de Ciencias Químicas, de la UNAM, con doctorado en Ingeniería Química





Recuperación y rehabilitación de horno para de tratamiento térmico en aceros utilizando control electrónico de temperatura

Juan Martín Flores Ortiz*, Raúl Rosas Olmos*, Diego Sánchez García*, Raúl Dalí Cruz Morales*,
Gonzalo Hedain López Mera*, David Tinoco Varela*

RESUMEN

Una de las grandes ventajas de los materiales de ingeniería, en particular los aceros, es poder aprovechar las características polimórficas que estos materiales pueden presentar. Los cambios cristalinos asociados a ciclos bien definidos de tiempo y temperatura pueden lograr mejorar las propiedades de estos materiales. Dentro del diseño mecánico es esencial conocer y realizar estos procesos para obtener la resistencia mecánica necesaria de los componentes conceptualizados. Un elemento esencial para el buen desarrollo de tratamientos térmicos en aceros es el horno en donde las piezas serán tratadas. Este trabajo se enfoca en la reparación y actualización de un horno de alta temperatura de laboratorio, el cual se le conoce como mufla, estos equipos son caros y debido a los ciclos térmicos agresivos se van deteriorando continuamente. Por lo que es necesario realizar constantemente el mantenimiento de estos. El control de las temperaturas dentro de la cámara del horno es crucial para lograr las transformaciones de fase adecuadas en el acero, es por esta razón que la actualización del controlador garantizara que la oscilación de temperaturas no exceda los +/- 5°C con respecto al valor programado.

ABSTRACT

One of the most significant benefits of engineering materials, especially steel, is that we can take advantage of the polymorphism characteristics of these materials. Crystalline changes associated with well-defined cycles of time and temperature can enhance mechanical properties in steel. In mechanical design is essential to know how to make these processes to achieve the mechanical strength under which these components were conceptualized. A necessary element of the heat treatment of steel is the furnace where the pieces will be treated. Therefore, the present work is focused on the reparation and update of a high temperature laboratory furnace known as a muffle. These devices are too expensive, and due to aggressive thermal cycles, they constantly must get maintenance. Temperature control inside the furnace chamber is essential to achieving the correct phase changes in steel. For this reason, the controller was updated, guaranteeing that the temperature fluctuation will be +/-5°C concerning to set value.

Palabras claves: Transformaciones de fase, Aceros, Resistencia mecánica, Control PID, Resistencias eléctricas.

INTRODUCCIÓN

Una mufla es un horno destinado normalmente para la cocción de materiales cerámicos y para la fundición de metales a través de la energía térmica. Dentro del laboratorio un horno mufla se utiliza para calcinación de sustancias, secado de sustancias, fundición y procesos de control. Se trata de una cámara cerrada construida con materiales refractarios, ya que suelen alcanzar temperaturas de hasta 1200°C se compone de una puerta por la que se accede al interior de la cámara de cocción, en la que existe un pequeño orificio de observación y para introducir sondas para verificar y registrar la temperatura dentro de la mufla.

La mayoría de los procesos de tratamiento térmico realizados dentro del laboratorio de Tecnología de Materiales requiere de temperaturas superiores a 723°C es por esta razón que se decidió alcanzar una temperatura objetivos de 800°C.

A menudo los hornos de alta temperatura o muflas se utilizan en los siguientes campos:

- Plantas de tratamiento de aguas residuales
- Plantas industriales
- Farmacéuticas
- Laboratorios medioambientales
- Laboratorios agrícolas
- Fabricantes de papel
- Laboratorios de cosméticos

Las aplicaciones típicas son:

- Incineración de muestras orgánicas e inorgánicas
- Tratamiento térmico
- Determinación de compuestos volátiles
- Análisis químicos
- Pruebas de material

* Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Estudios Superiores-Cuautitlán Departamento de ingeniería, Ingeniería Eléctrica, Estudiante de Ingeniería floresortizjuan999@gmail.com, Estudiante de Ingeniería raulrosas216@gmail.com, Técnico Académico

dgosanchez@comunidad.unam.mx, Técnico Académico
gonzalosieben@gmail.com, Profesor de Carrera
rdcruz@comunidad.unam.mx, Profesor de Carrera dativa19@hotmail.com



ANTECEDENTES

El horno se encontró sin funcionamiento dentro de las instalaciones del Laboratorio de Tecnología de Materiales ubicado en el LIME-2 de la FES-Cuautitlán (Figura 1). Este horno ya había presentaba evidencias de intentos de reparación previa. Sin embargo, no se lograron resolver los problemas por lo que era considerado como baja chatarra. Debido a la amplia afluencia de alumnos e este laboratorio y al elevado costo de estos equipos de decidió intensificar las acciones de mantenimiento y tratar de recuperarlo y actualizarlo.



Figura 1.- Horno antes del mantenimiento. (Autoría propia)

Previo al inicio del programa de mantenimiento y actualización se encontraron las siguientes problemáticas:

- Las resistencias dentro de las placas cerámicas ya estaban en malas condiciones.
- Solo contaba con 3 placas cerámicas aun cuando el fabricante menciona 4.
- Una de las placas cerámicas se encontraba fracturada.
- El cable de conexión eléctrica no era el apropiado para el uso que se debe de dar lo que provocaba que el cable se calentara rápidamente.
- El control analógico mencionaba que regulaba el tiempo y en realidad regulaba la temperatura interior como un potenciómetro.

Con base a lo anterior se creó un plan de acción para la resolución de estas problemáticas, las soluciones planteadas antes de la realización del mantenimiento fueron:

- Revisar las resistencias y placas aislantes en su totalidad y evaluar su uso y su viabilidad de ser aprovechadas.

- Realizar el cambio de resistencias y placas aislantes en donde sea necesario.
- Revisar los componentes eléctricos y plantear si es necesario un cambio o actualización de estos.

DESARROLLO

Como primer paso se procedió a la inspección de las conexiones eléctricas removiendo las placas protectoras de la parte trasera del horno, como se observa en la Figura 2.



Figura 2.- Conexión posterior de la mufla. (Autoría propia)

Posteriormente se retiró la cubierta inferior Figura 3, para realizar el análisis de componentes, se determinó que era necesaria una actualización del relé de bobinas cambiarlo por un relé de estado sólido, se conservó el switch, el foco indicador y el medidor de temperatura, adicionalmente se decidió incorporar un pirómetro modelo Rex-C100 con el fin de controlar de forma más precisa la temperatura y actualizar el horno.

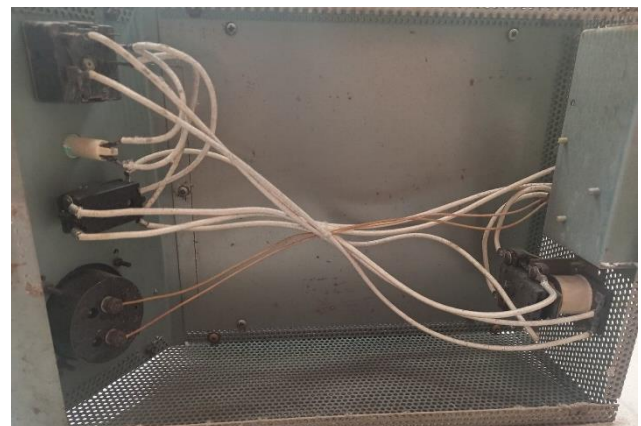


Figura 3.- Conexión vista por la parte inferior. (Autoría propia)



Posteriormente a la inspección se realizó la desconexión y se resguardaron los componentes para su posterior reensamblado, Figura 4.



Figura 4.- Desconexión de los cables. (Autoría propia)

Se detectó que varias de las placas de calefacción integradas por resistencias no contaban con continuidad eléctrica. Debido al alto costo de los módulos originales, se decidió realizar la fabricación de resistencias y placas calefactoras de bajo costo. Figura. 5.



Figura 5.- Retirado de resistencias en las placas. (Autoría propia)

Para llevar a cabo este proceso primero se realizó una investigación en bibliografía especializada para determinar el tipo de resistencias que se emplean en este tipo de hornos. A continuación, se enlistan las propiedades de cualquier resistencia sin importar sus dimensiones.

- Composición de aleación: 80% Níquel, 20% Cromo
- Tipo de elemento: Alambre AWG
- Color: Gris plateado
- Temperatura máxima: 1250°C

- Densidad a 20°C: 1380 Kg/m³
- Gravedad específica a 20°C: 8.4
- Conductividad térmica: 11.3W/(Kg·°C)
- Módulo de elasticidad: 2.18×10^{11} Pa
- Coeficiente de expansión: 13.8×10^{-6} m/°C
- Calor específico a presión constante: 450 J/Kg·K
- Nombres comerciales: Alambre Nicromo.

Se determinó que la aleación de kanthal era la más óptima para la fabricación de las resistencias a reemplazar. Una vez seleccionado el material se calculó el número de vueltas que debe tener la resistencia.

$$n = \frac{1000 * L}{\pi * (D - d)} \quad (1)$$

$$n = \frac{1000 * 0.2m}{\pi * (1)} \quad (2)$$

Donde:

D = diámetro de la hélice d = diámetro del hilo (mm)

L = longitud del elemento

Al aplicar la ecuación (2) se determinó que el número de vueltas n= es de 63 vueltas.

Con el material y el número de vueltas definido se comenzaron a realizar pruebas de fabricación, Figura 6.

Con el fin de tener control y homogeneidad en la fabricación de las resistencias se ideó un sistema el cual consiste en dos placas con un barreno en el centro por el que pasa un cilindro el cual en la punta tiene otro barreno de dimensión similar al diámetro del alambre, aquí el alambre se engancha con ayuda de pinzas, se pasa por en medio de ambas placas con una guía en una de las placas para evitar que el alambre no fluyera. Todo el sistema se acopló a un motor eléctrico, mediante el cual fue posible fabricar fácil y rápidamente las resistencias. Figura 7 y Figura 8.



Figura 6.-Pruebas preliminares de enrollado de resistencias. (Autoría propia)



Figura 7.- Primer prototipo de enrollado de resistencias. (Autoría propia)



Figura 8.- Proceso de creación de las placas metálicas para el prototipo final. (Autoría propia)

Varios de los paneles originales de cerámica estaban completamente destruidos o debían ser ajustados para poder contener las nuevas resistencias por lo que se optó por fabricar los paneles de ladrillo refractario convencional Figura 9. El proceso consistió en cortar los ladrillos del ancho necesario y hacer barrenos largos por los que pasan las resistencias. En total se fabricaron tres placas las cuales se pueden observar en la Figura 10.



Figura 9.- Creación de las placas aislantes. (Autoría propia)



Figura 10.- Prueba de funcionamiento de resistencias y placas. (Autoría propia)

Para la realización de la conexión eléctrica se tienen 3 opciones trabajar las 3 resistencias en serie, en paralelo o 2 en paralelo y 1 en serie así realizamos los siguientes cálculos el valor tiene que acercarse a 2500W de potencia.

$$P = V * I \quad (3)$$

$$R_{serie} = R_1 + R_2 + R_3 \quad (4)$$

$$R_{paralelo} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} \quad (5)$$

$$I = \frac{V}{R} \quad (6)$$

1-serie

$$R_{serie} = 19 + 19 + 19 = 57\Omega$$



$$I = \frac{127v}{57\Omega} = 2.2A$$

$$P = 127v * 2.2A = 279.4W$$

2-paralelo

$$R_{paralelo} = \frac{1}{\frac{1}{19} + \frac{1}{19} + \frac{1}{19}} = 6.3\Omega$$

$$I = \frac{127v}{6.3\Omega} = 20.16A$$

$$P = 127v * 20.16A = 2560.16W$$

3- mixto

$$R_{paralelo} = \frac{1}{\frac{1}{38} + \frac{1}{19}} = 12.6\Omega$$

$$I = \frac{127v}{12.6\Omega} = 10A$$

$$P = 127v * 10A = 1280W$$

La conexión final se muestra en la Figura 11.

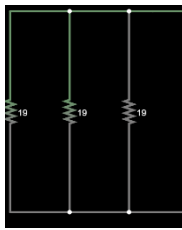


Figura 11.- Conexión en paralelo. (Autoría propia)

para la conversión a digital se conectó el relé, el termostato digital (Figura 12) y un puenteo para suministrar energía y verificamos el encendido, Figura 13.

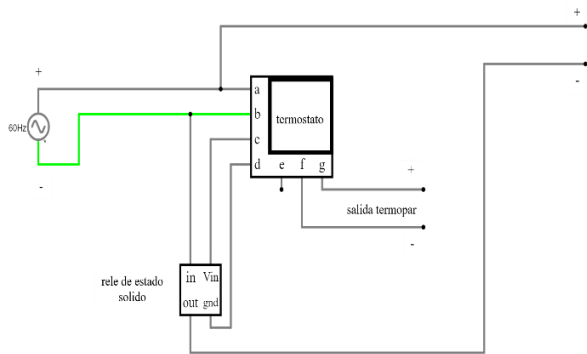


Figura 12.- Conexión final. (Autoría propia)



Figura 13.- Comprobación de funcionamiento del termostato. (Autoría propia)



Figura 14.- Modificación: Recorte para colocar el termostato digital. (Autoría propia)
Finalmente se realizó la modificación en la carcasa del horno para poder fijar el pirómetro digital, Figura 14.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados del mantenimiento y actualización fueron óptimos ya que fue capaz de encender y trabajar de manera correcta e incluso mejor a como estaba con anterioridad. Con el fin de corroborar lo anterior como puesta punto se realizó la práctica de templado, en esta práctica se debe llevar un espécimen de acero por arriba de la temperatura crítica A₁, Figura15.

Durante la fabricación de las resistencias eléctricas se obtuvo la información necesaria para obtener crear el dispositivo de enrollado y obtener resistencias más homogéneas de manera sencilla.

En este artículo se presenta la metodología para poder rehabilitar elementos de laboratorios con un buen mantenimiento ya sea correctivo o preventivo y/o actualizar varios aparatos como las muflas de manera sencilla y económica en comparación de comprar una nueva y utilizar refacciones de línea. En este trabajo se demuestra la capacidad que tienen los estudiantes de la facultad para llevar a cabo tareas que pueden parecer complicadas, pero con el apoyo correcto de los docentes se pueden lograr grandes resultados. La buena instrucción teórica en complemento con la creatividad y la práctica hacen posible la realización de proyectos de este tipo, los cuales tienen un impacto tangible en la comunidad universitaria, ya que se rehabilitan equipos y se optimizan los recursos económicos de la institución.



Figura 15.- Mufla funcionando en la práctica de templado.
(Autoría propia)

CONCLUSIÓN

La rehabilitación de este equipo mejora las condiciones del Laboratorio de Tecnología de Materiales de la FES-Cuautitlán ya que con él se puede agilizar y proporcionar un mejor servicio a la comunidad universitaria que haga uso de estas instalaciones.

Con el análisis y asimilación del conocimiento referente al mantenimiento de hornos eléctricos de alta temperatura se garantiza mantener en óptimas condiciones equipos de esta naturaleza dentro de la facultad; no solo en el departamento de ingeniería.

Se diseñó e implementó un dispositivo sencillo para la fabricación de resistencias eléctricas de alambre, sin la necesidad de equipo especializado y de alto costo.

Mediante la actualización del pirómetro de analógico a digital, se incrementa la precisión en el control de temperatura de la mufla, lo cual que es fundamental en la realización de transformaciones de fase en materiales metálicos.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

Aguirre, P., & Sanchez, B. (2020). *Diseño, construcción y automatización de un horno eléctrico para el calentamiento de prepolymer y polyol en la elaboración de calzado para la empresa calzado Cass*. Recuperado el 10/05/2023 de: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/8300/2/T-ESPEL-EMI-0255-P.pdf>

Alkhimov, E., Dovgal, A., Ivanova, O., Burtsev, A., Kaplya, V., & Nosenko, V. (2011). *Identification of the electrical parameters of a resistance furnace*. *Measurement Techniques*, 54 (7), 808–812.

FisherScientific. (2022). ¿por qué elegir un horno mufla Thermolyne para su laboratorio. Recuperado el 15/05/2023 de: <https://www.fishersci.es/es/es/promotions/why-choose-thermolyne-muffle-furnace-for-your-lab.htm>

Hsu, P., Yeh, A., & Chang, S. (2016). *Effects of alloying addition in Fe-Cr-Al systems for heating element application*. National Tsing Hua University.

Lupi, S., Forzan, M., & Aliferov, A. (2014). *Induction and direct resistance heating: Theory and numerical modeling*. Springer International Publishing.

Olmedo, F. (2000). *Diseño y mantenimiento de hornos industriales*. Bernardo Martínez Hernández.

Point, T. (2023). *Resistance furnaces or ovens: Types applications*. Recuperado el 20/02/2023 de: <https://www.tutorialspoint.com/electric-resistance-furnaces-or-ovens-types-and-applications>.

Pring, J. (2007). *The electric furnace in chemical and metallurgical operations*. Rough Draft Printing.

Urquiza, J. (1994). *Hornos industriales de resistencia: teoría, cálculo y aplicaciones*. McGraw-Hill.

Vilanova, R., & Visioli, A. (2012). *PID control in the third millennium: Lessons learned and new approaches*. Springer London.

AGRADECIMIENTOS

En esta sección se busca dar un reconocimiento explícito por el apoyo brindado a los proyectos PIAPIME 1.31.27.23, 1.31.19.23 y PE103023.

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Juan Martín Flores Ortiz: Estudiante de la carrera de Ingeniería Industrial en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.

Raúl Rosas Olmos: Estudiante de la carrera de Ingeniería Industrial en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.

Diego Sánchez García: Ingeniero Metalúrgico egresado de la Universidad Autónoma Metropolitana, Maestro en Ingeniería Mecánica campo de conocimiento en Metalmeccánica egresado de la UNAM.

Gonzalo Hedian López Mera: Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones egresado de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo y Maestro en Ingeniería Eléctrica opción Mecatrónica egresado del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional.

Raúl Dalí Cruz Morales: Ingeniero en robótica industrial egresado de ESIME-IPN, Maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica egresado del CINVESTAV y Doctor en Ciencias en Ingeniería Eléctrica, especialidad Mecatrónica egresado del CINVESTAV. Actualmente es profesor en la FES-Cuautitlán UNAM.

David Tinoco Varela: Ingeniero mecánico eléctrico por la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán UNAM, Maestro y Doctor en ciencias computacionales por la UNAM. Actualmente es profesor de la FES-Cuautitlán UNAM.



Diseño de un sistema fotovoltaico para energizar una torre de telecomunicaciones en Quintana Roo, México

Juan Daniel Rivas Martínez, Martín Darío Castillo Sánchez*

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se calculó y seleccionó un sistema fotovoltaico para suministrar de energía eléctrica a los circuitos de una torre de telecomunicaciones que está ubicada en el Municipio de Felipe Carrillo Puerto en el estado de Quintana Roo. Se calculó la demanda total de energía eléctrica requerida por la torre de telecomunicaciones, se realizó un análisis de la geografía del lugar, así como el nivel de insolación promedio mensual y anual de la zona, para determinar los parámetros del sistema de captación, acumulación, conversión, distribución y gasto de la energía eléctrica obtenida del sistema fotovoltaico, se investigó y proporcionó información relacionada con los diferentes componentes de un sistema fotovoltaico, así como la descripción de su instalación. Los cálculos financieros demuestran que el proyecto es viable y puede generar un mayor desarrollo económico en la zona, ya que se pueden transmitir mensajes de forma inmediata, permitiendo estar informados de cualquier tipo de noticia o acontecimiento que esté ocurriendo en cualquier parte del mundo.

ABSTRACT

In the present research work, a photovoltaic system was calculated and selected to supply electricity to the circuits of a telecommunications tower that is located in the Municipality of Felipe Carrillo Puerto in the state of Quintana Roo. The total demand for electrical energy required by the telecommunications tower was calculated, an analysis of the geography of the place was carried out, as well as the average monthly and annual insolation level of the area, to determine the parameters of the collection, accumulation, conversion, distribution and expense of the electrical energy obtained from the photovoltaic system, information related to the different components of a photovoltaic system was investigated and provided, as well as the description of its installation. Financial calculations show that the project is viable and can generate greater economic development in the area, since messages can be transmitted immediately, allowing them to be informed of any type of news or event that is occurring anywhere in the world.

Palabras claves: Panel solar, Inversor, Controlador de carga. Torre de Telecomunicaciones.

INTRODUCCIÓN

El origen de las ondas electromagnéticas se basa en el hecho de que toda carga eléctrica en movimiento emite energía en forma de onda electromagnética, siendo la frecuencia de esta onda la misma que la del movimiento de la carga. Un campo electromagnético se caracteriza por su frecuencia o longitud de onda y su intensidad (potencia), así como por la polarización (variación con el tiempo de la dirección de la intensidad de campo en un punto determinado del espacio) y la modulación empleada.

Una antena es un dispositivo diseñado con el objetivo de emitir y/o recibir ondas electromagnéticas hacia/desde el espacio libre.

Las antenas sirven para enfocar la energía en una determinada dirección, enfocando la energía en esa dirección se logra aumentar la intensidad de la señal desde y hacia dicha dirección. El grado de intensidad logrado por la antena se conoce como su ganancia. Entre mayor sea la ganancia de la antena, menor será el ángulo en la cual emite la señal, es por esto por lo que las antenas de alta ganancia son muy directivas. Además, al tener mayor direccionalidad se aumenta la aislación del ruido proveniente de otras direcciones, permitiendo así un doble efecto: mejor señal y menos ruido. En un entorno donde la información a tiempo real es imprescindible para la correcta toma de decisiones, las antenas juegan un papel determinante. Gracias a ellas somos capaces de comunicarnos sin necesidad de cables, tenemos acceso a todo tipo de información en cualquier lugar y en cualquier momento. En la actualidad la telefonía ha facilitado el estilo de vida de todas las personas, pues de esta forma se pueden transmitir mensajes de forma inmediata. Para tener una comunicación telefónica se requiere de una red de torres de telecomunicaciones comunicadas entre ellas para poder expandir la señal telefónica, en ocasiones se necesita torres de enlace, ubicadas en lugares de difícil acceso donde la línea de Media Tensión y Baja Tensión de CFE no están presentes por tal motivo, nos encontramos con la dificultad de realizar obras, conseguir permisos ante municipios y ejidatarios y esperar a que el trámite ante CFE sea autorizado. Méndez (2011).

* Instituto Politécnico Nacional, ESIME Zacatenco, Ingeniería eléctrica, Academia de Mecánica, drivas-sigmatron@hotmail.com, Unidad profesional "Adolfo López Mateos", colonia: Lindavista. C.P: 07738, Alcaldía: Gustavo A. Madero. CDMX. M. en C. Juan Daniel Rivas Martínez. Dr. Martín Darío Castillo Sánchez.





ANTECEDENTES

De acuerdo con un estudio realizado por el Instituto Federal de Telecomunicaciones (IFT), para dar un servicio de telecomunicaciones móviles de calidad que cubriese a la totalidad de los mexicanos implicaría un parque de poco más de 80 mil Torres de telecomunicaciones. Cuando los servicios de telefonía celular comenzaron en México hacia finales de la década de 1980, las empresas pioneras construían sus propias torres para dar servicio a sus clientes. Con el tiempo cada operador de telecomunicaciones móviles (y a principios de este siglo existían casi una decena de compañías) construyó su propia red. Esto creó problemas como la redundancia: los mejores lugares para construir una red de telecomunicaciones son limitados por factores como la propagación de señal y por ende los competidores solían involucrarse en agrias disputas para tener derecho de construir sobre la misma azotea una torre de telecomunicaciones. Las empresas empleaban buena parte de sus recursos en la construcción y mantenimiento de su infraestructura convirtiéndola en los hechos en una empresa inmobiliaria y constructora. Cada operador destinaba cientos y quizá miles de millones de pesos anualmente para comprar terrenos, tramitar licencias, construir las torres, proveerlas de servicio eléctrico y seguridad, además de mantener cuadrillas masivas de trabajadores recorriendo el país para darle mantenimiento a las torres. No era raro que las compañías tuvieran plantillas de miles de trabajadores dedicados exclusivamente a dar mantenimiento a las torres en lugar de darle servicio al cliente final. Hacia inicios de la presente década ocurrieron cambios interesantes. El primero fue que las empresas de telecomunicaciones comenzaron a vender sus torres a empresas especializadas, lo que les permitió concentrarse en el servicio al cliente, dejando en manos de estas compañías la gestión de su infraestructura. En 2015 el Agente Económico Preponderante (AEP) creó una empresa hacia la que transfirió la totalidad de sus torres de telecomunicaciones, entonces unas 12 mil, bajo el argumento oficial de mejorar la rentabilidad de la infraestructura a su cargo, pero muy probablemente para evadir la regulación asimétrica impuesta a este Agente Económico Preponderante (AEP), un par de años atrás. Al mismo tiempo llegaron competidores extranjeros y aparecieron nuevas empresas que en menos de media década se han hecho con alrededor de la mitad del mercado de torres, alrededor de 11 mil. Algunas de estas empresas han logrado expandirse al punto de tener un portafolio de torres que suma varios miles, algo antes impensable. Para llegar al objetivo de las 80 mil torres o una cifra que pueda cubrir una mayor cantidad de mexicanos con redes de telecomunicaciones de calidad será preciso impulsar la competencia en el sector, promoviendo las inversiones de quienes ya están en este negocio como la llegada de nuevos competidores. IDET (2022).

En un entorno donde la información a tiempo real es imprescindible para la correcta toma de decisiones, las antenas juegan un papel determinante. Gracias a ellas somos capaces de comunicarnos sin necesidad de cables, tenemos acceso a todo tipo de información en cualquier lugar y en cualquier momento. En la actualidad la telefonía ha facilitado el estilo de vida de todas las

personas, pues de esta forma se pueden transmitir mensajes de forma inmediata, Para tener una comunicación telefónica se requiere de una red de torres de telecomunicaciones comunicadas entre ellas para poder expandir la señal telefónica, en ocasiones se necesita torres de enlace, ubicada en lugares de difícil acceso donde la línea de Media Tensión y Baja Tensión de CFE no están presentes por tal motivo, nos encontramos con la dificultad de realizar obras, conseguir permisos ante municipios y ejidatarios y esperar a que el trámite ante CFE sea autorizado. Méndez (2011). En el presente trabajo de investigación se propuso diseñar un sistema eléctrico con paneles solares que suministren la energía necesaria para los circuitos de la torre de telecomunicaciones que se localizara en el municipio de Felipe Carrillo Puerto, en el Estado de Quintana Roo.

DESARROLLO

Selección del lugar de emplazamiento para el sistema Fotovoltaico.

Para poder seleccionar adecuadamente el lugar de emplazamiento se deben tomar en cuenta diversos factores como son; un estudio económico del lugar, la demanda eléctrica, la ubicación geográfica.

Ubicación geográfica: El municipio de Felipe Carrillo Puerto, en el estado de Quintana Roo Entre los paralelos 19°03' y 20°25' de latitud norte; los meridianos 87°25' y 88°43' de longitud oeste; altitud entre 0 y 100 m. INEGI (2017)

Colindancias: Colinda al norte con el estado de Yucatán y el municipio de Tulum; al este con el municipio de Tulum y el Mar Caribe (Mar de las Antillas); al sur con el Mar Caribe (Mar de las Antillas) y con el municipio de Othón P. Blanco y al oeste con los municipios de Othón P. Blanco y José María Morelos y con el estado de Yucatán.

Clima: Cálido subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (60.90%), cálido subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad (37.40%) y cálido subhúmedo con lluvias en verano, de menor humedad (1.70%).

Rango de temperatura: 24 - 28°C

Rango de precipitación: 1 100 – 1 500 mm

Superficie: Ocupa el 29.36% de la superficie del estado. Cuenta con 383 localidades y una población total de 75 026 habitantes. <http://mapserver.inegi.org.mx/mgn2k/>; resultado del Censo de Población y Vivienda 2010. INEGI (2017).

Cálculo de los equipos para el sistema fotovoltaico.

Para poder calcular el número total de paneles solares que se necesitara, primero tiene que conocer algunos datos, como lo son, el consumo total de energía, ver tabla 1. También la potencia pico



del panel en condiciones estándar y la radiación solar del mes más crítico durante el año.

Tabla 1. Consumo eléctrico diario del módulo

Cantidad	Equipo	Horas de uso (H)	Potencia (W)	Consumo WH/día
1	Antena repetidora	24	8	192

Una vez que se tiene el consumo de la antena, se realizara el cálculo para un mes, teniendo en cuenta los días de utilización con la Ecuación 1.

$$Ea = E * 365 \quad (1)$$

Ea : Energía anual que demanda la carga (kWh/año)

E : consumo diario total (kWh/día)

Sustituyendo valores tenemos:

$$Ea = 192 * 365 = 70,080 \text{ kWh/año}$$

Obtención de la radiación solar disponible en la ubicación.

Para el diseño de instalaciones fotovoltaicas, y con el fin de poder evaluar la energía que puede producir la instalación en cada mes de año, se define el concepto de número de horas de sol pico (HSP) del lugar en cuestión, y que representa las horas de sol disponibles a una hipotética irradiación solar constante de 1000 W/m².

De la información obtenida de la NASA para la radiación solar se encontró que el periodo más bajo de radiación solar fue de 4.62 kW/m²/día, el cual es reportado durante el mes de Diciembre, mientras que el promedio del año fue de 5.18 kW/m²/día, por lo que para calcular la cantidad mínima de paneles fotovoltaicos necesarios para satisfacer la demanda de energía eléctrica de 192 kW/día, se recurrirá al uso en la Ecuación 2, donde el valor de HPS a utilizar será el del mes más bajo, en este caso fue el mes de Diciembre, con esto se garantiza que si existe una baja radiación solar no se comprometa el sistema de alimentación fotovoltaica. Harper (2010) y Abella (2004)

$$\text{HSP} = \text{radiación solar tablas} / 1\text{ kW/m}^2 \quad (2)$$

$$\text{HSP} = 4.62 \text{ kW/m}^2 / 1 \text{ kW/m}^2$$

$$\text{HSP} = \frac{\text{radiación solar de la zona}}{1 \text{ kW/m}^2}$$

$$\text{HSP} = \frac{4.62 \frac{\text{KW}}{\text{m}^2}}{1 \frac{\text{KW}}{\text{m}^2}}$$

$$\text{HSP} = 4.62$$

Cálculo del número de paneles requeridos.

Para calcular el número de paneles solares necesarios para satisfacer la demanda eléctrica prevista de 192 kW/día, se empleará la Ecuación 3, en función del emplazamiento y tipo de panel solar que se vaya a instalar:

$$M = \frac{E_c * F_s}{I_M * V_M * \text{HSP} * N_{\text{BAT}} * N_{\text{INV}}} \quad (3)$$

Donde:

M = Numero de módulos solares

E_c = Energía Consumida diariamente por la antena (W/día)

F_s = Factor de sobredimensionamiento del Sistema (se sobre dimensiona 10% a 20%)

F_s = 1.1 a 1.2

I_M = Corriente del módulo solar 8.63 Amperes. (Máxima insolación 1 kW/m²)

V_M = Voltaje promedio de operación del módulo solar 31.87 Volts (No confundirlo con el voltaje de baterías).

HSP = Radiación de la localidad en el mes de menor insolación expresada en horas máximas de insolación 4.62 kW/m²)

N_{inv} = Eficiencia del inversor CD/CA en caso de que el equipo opere en:

C.A. = valores típicos 0.8 a 0.9

C.D. = valor de 1

N_{BAT} = Eficiencia de carga de la batería 0.87 a 0.9.

$$M = \frac{(192 \text{ W})(1.2)}{(31.87 \text{ V})(8.63 \text{ A})(4.62)(1)(0.87)}$$

$$M = 0.208 \approx 1 \text{ panel}$$

Por lo tanto, se seleccionó el panel solar de 275 Watts, 60 células policristalino, con una tensión de 31.87 Volts y una corriente 8.63 amperes, con una eficiencia del módulo de 16.9%. Fabricado por ERA SOLAR. Modelo BSP275P.

Cálculo del número de baterías.

Para calcular la capacidad de las baterías de acumulación, primero se establece la autonomía deseada en caso de tener días desfavorables sin insolación por abundante nubosidad se utiliza la Ecuación 4. Harper (2010) y Abella (2004)

$$C_B = \frac{A_U * E_c}{V_B * F_U * N_{\text{INV}}} \quad (4)$$



Donde:

C_B = Capacidad del banco de baterías.
 E_C = Energía consumida por día.
 A_U = Autonomía deseada en el banco de baterías (días) varía entre 4 días con Buena insolación y hasta 10 días para lugares nublados.
 F_U = Fracción de la capacidad total de la batería que se usa para dar autonomía de diseño del Sistema evitando que la batería se descargue totalmente. Voltaje nominal al cual trabajara el banco de baterías.
 $F_U = 0.5$ para baterías de placa delgada.
 $F_U = 0.8$ para baterías de placa gruesa.
 F_I = Factor de incremento de la capacidad de la batería respecto a su valor nominal comercial como resultado de una razón (tiempo) de descarga.
 Este valor varía desde 1.05 en baterías de placa delgada hasta 1.35 en baterías de placa gruesa tipo tubular.

$$C_B = \frac{(10) \cdot (192)}{(12) \cdot (0.8) \cdot (1)} = \frac{1920}{9.6} = 200 \text{ Ah}$$

Numero de baterías: Corresponde al cálculo para identificar el número total de acumuladores o baterías que deben de usar para soportar la corriente del Sistema de acuerdo con el cálculo realizado previamente, Ecuación 5. Harper (2010) y Abella (2004)

$$N_B = \frac{C_B}{C_R} \quad (5)$$

Donde:

N_B = Numero de baterías que se necesitan
 C_R = Capacidad de energía requerida para funcionar en días nublados (Ah).
 C_B = Capacidad de la batería (Ah)

$$N_B = 200 \text{ Ah} / 260 \text{ Ah} = 0.8 \approx 1 \text{ Batería.}$$

De acuerdo con las especificaciones requeridas. Se utilizará la **Batería Sellada Blue 260Ah 12V. Marca Tensite. Modelo EFB HEAVY 12-260.**

Controlador de carga.

Es el que limita la energía que se le suministra a la batería ya que cuando la batería ya está cargada, si se le sigue suministrando energía, se calienta y se podría generar una situación peligrosa, Ecuación 6. Harper (2010) y Abella (2004)

$$I_{MAX} = I_{SC} \cdot N_P \quad (6)$$

Donde:

I_{MAX} = Corriente máxima
 I_{SC} = Corriente de corto circuito del panel
 N_P = Numero de paneles a usar.
 $I_{MAX} = I_{SC} \cdot N_P$
 $I_{MAX} = 9.2 \text{ A} \cdot 1 \text{ panel}$

$$I_{MAX} = 9.2 \text{ A.}$$

Por lo tanto, se selecciona un Controlador Solar de Carga y Descarga, con un Voltaje de trabajo de 12 a 24V con Auto detección, y Corriente de carga de 10A y 20A.
 Marca: Auto Solar. Modelo: PC1500B-10-20.
 Este controlador permite mantener las baterías en un estado óptimo de carga evitando que estas lleguen a la descarga completa.

Cálculo del Angulo de inclinación y del Angulo de orientación.

Para determinar el Angulo de inclinación de los paneles fotovoltaicos, se debe utilizar el valor de la latitud del lugar donde se encuentra localizada la antena a la cual se le sumaran 5° . Ecuación 7. Harper (2010) y Abella (2004)

$$\angle INC + \angle LAT = 20^\circ 25' + 5^\circ = 25^\circ 25' \text{ al sur} \quad (7)$$

Cálculo del área del arreglo fotovoltaico.

Para el dimensionamiento del área total del arreglo fotovoltaico primeramente se debe calcular el espaciamiento entre paneles para evitar que existan sombras causados por los paneles adyacentes, para esto se hacen las consideraciones siguientes, Figura 1.

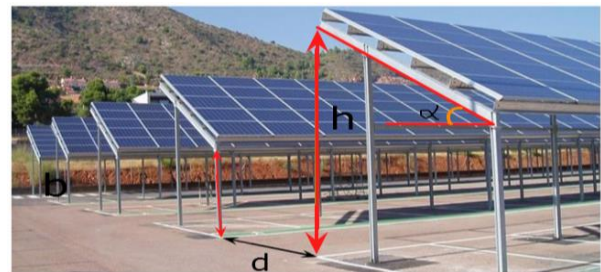


Figura 1. Separación entre paneles.

El diseño de la instalación se considera para el Municipio de Felipe Carrillo Puerto, en el estado de Quintana Roo. (Latitud $20^\circ 25'$ de latitud norte).



Es necesario determinar la separación entre paneles para evitar sombras entre los arreglos, para esto es necesario realizar los siguientes cálculos. Figura 2.

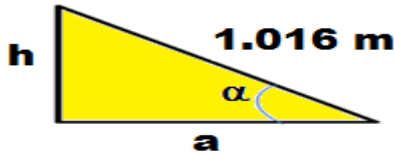


Figura 2. Representación de la inclinación de paneles.

Realizando los cálculos de h se obtiene para el municipio de Felipe Carrillo Puerto, en el estado de Quintana Roo.

$$h = 1.016 * \text{sen}(25.417) = 0.436 \text{ m}$$

Posteriormente se debe determinar un factor k en función de la latitud del lugar de instalación, para esto se ocupa la Ecuación 8.

$$k = \frac{1}{\tan(61 - \text{latitud})} \quad (8)$$

Sustituyendo valores se obtiene:

$$k = \frac{1}{\tan(61 - 25.417)} = 1.4$$

Finalmente, el espaciamiento entre paneles será el producto del factor k por la distancia h obteniendo como resultado. Ecuación 9.

$$d = k (h) \quad (9)$$

$$d = 1.4 * 0.436 = 0.610 \text{ m}$$

Una vez calculada la distancia de separación entre paneles es necesario calcular la distancia mínima entre aristas de paneles para evitar sombra (d_{\min}) añadiendo la porción restante del panel inferior a la arista superior del mismo respecto a la horizontal en metros.

Donde:

d_{\min} : Distancia mínima entre aristas de paneles para evitar sombras en metros

L: longitud del panel en metros

h: altura solar al medio día en metros.

α : Grado de inclinación del panel con respecto a la horizontal en grados (°).

θ : Ángulo de la sombra respecto a la horizontal en °.

a: distancia de la arista

d: distancia de la arista inferior del panel a la arista inferior del otro en metros.

Por lo tanto, la distancia mínima de separación entre paneles corresponde a:

$$d_{\min} = (1.016)(\cos(25.417)) + d = 0.918 + 0.610 = 1.528 \text{ m}$$

Cálculo del inversor.

De acuerdo con el cálculo realizado se considera la capacidad que deberá de tener el inversor para el Sistema y convertir la energía de corriente directa a alterna. Ecuación 10. Harper (2010) y Abella (2004)

$$\text{INV} = W_1 + W_2 + \dots + W_N \quad (10)$$

Donde:

INV = Potencia del inversor (Watts)

W = Potencia de cada una de las cargas (Watts)

INV = 1000 Watts

Se seleccionó, el Inversor Marca: MUST SOLAR. Modelo: 600W, 12V rango 12V a 220V. Ideal para transformar la corriente continua que genera la instalación solar en corriente alterna 220V, 50 a 60Hz.

1.10 Cálculo de corriente para la selección de las protecciones.

Los valores utilizados, fueron tomados de la potencia de salida que proporciona cada inversor; las protecciones seleccionadas serán localizadas del lado de salida del inversor, lado de corriente alterna.

Se calcula la corriente eléctrica nominal, con la utilización de la ley de Watt con la Ecuación 11.

$$P = V \times I \quad (11)$$

Dónde:

P=Potencia (W)

V= Tensión (Volt)

I= Corriente (Ampere)

Despejando "I" se obtiene la Ecuación 12.

$$I = \frac{P}{V} \quad (12)$$

Corriente nominal resultante para una potencia de 1kW

$$I = \frac{1 \times 10^3}{220} = 7.874 \text{ A}$$



De acuerdo con el artículo 690-1 de la Norma Oficial Mexicana el primer elemento de protección es el fusible o elemento de protección contra sobre corriente y debe ser dimensionado a un valor no menor al 125% de la corriente Aplicando el sobredimensionamiento de la protección, Ecuación 13.

$$I_R = 125\% \times I \quad (13)$$

$$I = 1.25 \times 7.874 = 9.842 \text{ A}$$

Dada la corriente resultante se selecciona una protección eléctrica tipo fusible, normalizado a una corriente de 10 A.

Cálculo del calibre entre el panel y el controlador de carga. Ecuación (14).

$$A = \frac{2 \cdot \rho \cdot I \cdot L}{\Delta E} \quad (14)$$

Donde:

A = Área del conductor.

ρ = Resistividad del cobre 0.01785 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}^2$.

I = Corriente del conductor.

L = Longitud del conductor.

ΔE = Caída de tensión (V).

e% = Caída de tensión no mayor a 3%

V = Tensión (V).

0.85 Factor de ajuste para conductor expuesto a la radiación solar

1.12 Cálculo de la caída de tensión ΔE . Ecuación 15. Harper (2010).

$$\Delta E = \frac{V \cdot e\%}{100} \quad (15)$$

$$\Delta E = \frac{31.87 \text{ V} \cdot 3\%}{100}$$

$$\Delta E = 0.956 \text{ V.}$$

$$A = \frac{2 \cdot 0.01786 \cdot 8.63 \cdot 10}{0.956}$$

$$A = 3.22 \text{ mm}^2$$

Por lo tanto, de acuerdo con las tablas 310 – 15 de la Norma Mexicana 001-SEDE-2012, (anexo 5) el calibre del conductor AWG que le corresponde es el calibre 12.

Cálculo del calibre entre el controlador de carga y la batería.

$$A = \frac{(2) \cdot (0.01785) \cdot (8.63) \cdot (15)}{0.956}$$

$$A = 4.83 \text{ mm}^2$$

Por lo tanto, de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana 001-SEDE-2012 (anexo 5) el calibre del conductor AWG que le corresponde es el calibre 10.

Cálculo del calibre entre el controlador de carga y el inversor.

$$A = \frac{2 \cdot 0.01786 \cdot 8.63 \cdot 30}{0.956}$$

$$A = 9.67 \text{ mm}^2$$

Por lo tanto, de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana 001-SEDE-2012 (anexo 5) el calibre del conductor AWG que le corresponde es el calibre 8.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

De acuerdo con los cálculos obtenidos para la transmisión de datos situado aproximadamente a 50 kilómetros en línea recta de la base en el municipio de Felipe Carrillo Puerto a Tres Reyes, en el estado de Quintana Roo. Se seleccionó la Antena Rocket M5. Debido al bajo consumo de energía y por su alto rendimiento, cumple con las características requeridas para este proyecto inalámbrico punto a punto, en la tabla 2. Están las Especificaciones técnicas de la Antena.

Tabla 2. Especificaciones técnicas Antena Rocket M5

Dimensiones	160x80x44mm (6.30x3.15x1.73)
Peso	350g (12.35 oz.)
Características de recubrimiento	Aluminio fundido a presión
Procesador	MIPS 74kc
Memoria	128 SDRAM, 8MB Flash
Interfaces de red	(1) 10/100/1000 Mbps 10/100 Mbps
Conexiones RF	(2) RP-SMA (Impermeable), 1 SMA, (GPS)
Leds	3) Encendido, 2 (Ethernet), 6 Intensidad de señal, GPS
Consumo máximo de energía	(4) 8W
Suministro de energía	(5) 48 V, 0.5 A Adaptador PoE
Método de suministro de energía	Pasivo PoE (Pares 4,5+;7,8 Regreso) (6) 802.3af pasivo
Protección ESD/EMP	± 30 KV aire
Temperatura de operación	-30 a 75° C (-22 a 167° F)
Humedad de operación	5 a 95% sin condensación
Vibración	ETS1300-019-1.4



Para el diseño de la instalación de la Antena de Telecomunicaciones Se seleccionaron los siguientes equipos, de acuerdo con los cálculos obtenidos anteriormente ver tabla 3.

1euro = \$19.5725 (15/05/2023).

Tabla 3. Costos de Equipos para la instalación de la antena.

Descripción	Modelo	Cantidad	Precio Unitario MXN	Total, MXN
Panel solar 275W 60 células	BSP2 5P	1	2843.7	2843.7
Regulador de Carga 14 VCD	PC150 0B-10-20	1	870.9	870.9
Inversor cargador 600W 12 Vcd	EP20-500	1	4321.6	4321.6
Batería Blue 260 Ah 12 V tensión	Tensite EFB Heavy 12-260	1	5952.8	11905.7
Montaje panel solar para 2 módulo prose-8512 en poste y 1 módulo prose-8512 en torre.	SSPB LV5	1	1122.1	1122.1
Rocket Dish.		2	3296.8	6593.7
2 antena Rocket M5	M5	2	2049.1	4098.1
Gabinete Metálico De Seguridad Para 2 Baterías Y/o Equipo		1	3017	3017
TOTAL				34,772.8

Tabla 4. Costo total proyecto Equipo y mano de obra.

Concepto	Costo total M.N.
Equipo	34,772.8
Mano de Obra	67,500.0
TOTAL	102,272.8

ANÁLISIS ECONÓMICO

A continuación, se desarrolla el análisis económico del proyecto, el cual es un estado de resultados y un costo beneficio. Para determinar si el proyecto será viable o no.

Para poder realizar el siguiente análisis primero se tiene que conocer el total de la inversión del proyecto ver tabla 3 y 4.

La inversión sería de \$102,272.8, tomando en cuenta que el precio por minuto utilizando un teléfono celular es de \$ 0.852 por minuto.

La población económicamente activa del municipio de Felipe Carrillo Puerto, en el estado de Quintana Roo es de aproximadamente 19,128 Habitantes, considerando que únicamente el 25% de la población utilizara un celular por 10 minutos al día.

10 min p/habitante x \$ 0.98 p/min x 4782 habitantes = \$ 46,863.6
La inversión se estaría recuperando aproximadamente en tan solo dos días, y si tomamos en cuenta que los equipos tienen un tiempo de vida útil de más de 20 años, este es un proyecto viable.

CONCLUSIONES

El objetivo fundamental de este proyecto fue diseñar un sistema de paneles solares para energizar una torre de telecomunicaciones ubicada en el municipio de Felipe Carrillo Puerto, en el estado de Quintana Roo. Con esta propuesta se puede acelerar la energización de la torre, en comparación con los trámites que se requieren para realizar la instalación en baja y media tensión por medio de CFE. Así mismo el costo de la instalación por medio de CFE, sería mayor debido a que se tendría que desviar líneas de transmisión y distribución hacia el municipio de Felipe Carrillo Puerto, y para evitar caídas y pérdidas de tensión debido a las grandes distancias existentes entre el Sistema Eléctrico y el municipio sería necesario construir subestaciones para poder regular la potencia requerida.

El proyecto es viable, ya que la inversión de los \$102,272.8, se estaría recuperando en tan solo dos días de operación de la antena.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFIA

- [1]. Méndez María, Cuervo Rafael, “Energía Solar Fotovoltaica”, Editorial, Fundación Confemetal Madrid ,2011.
- [2]. Vega de Kuiper Juan, Santiago Morales, “Fuentes de energía renovables y no renovables, aplicaciones”, editorial, Alfaomega grupo editorial, Colombia, 2014.
- [3]. Madrid Vicente, “Curso de energía solar Fotovoltaica, Térmica y Termoeléctrica”, Editorial, Mundi-Prensa Libros, S.A, España, 2009,
- [4]. Harper Enríquez, “Instalaciones eléctricas domesticas Convencionales y solares fotovoltaicos”, Ed, Limusa, México, 2010.
- [5]. Lorenzo Eduardo,” Electricidad Solar, Ingeniería de los sistemas fotovoltaicos”, Editorial Progreso, Sevilla, 1994.



- [6]. Alonso Abella, M.” Sistemas Fotovoltaicos. Introducción al diseño y dimensionamiento de instalaciones de energía solar Fotovoltaica”, Ed. SAPT. Madrid, 2004.
- [7] Pérez M, “Prácticas de energía solar para estudiantes” Ciencias e Ingeniería”, Ed. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Almería. Almería, 2001.
- [8] INEGI, Información por entidad estado de Quintana Roo (2020) Disponible en:
https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/col/territorio/div_municipal.aspx?tema=me&e=0
- [9] IDET, Torres de telecomunicaciones, competencia para funcionar mejor, (2020), Disponible en:
<https://www.idet.org.mx/consumidores/torres-telecomunicaciones-competencia-funcionar-mejor/>

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Juan Daniel Rivas Martínez: Ingeniero Mecánico, egresado de ESIME, IPN. Maestro en Mecánica, Profesor de tiempo completo y exclusivo, especialista en Celdas de Manufactura y Robótica Industrial.

Martín Darío Castillo Sánchez: Ingeniero Mecánico, egresado de ESIME, IPN. Doctor en Ingeniería mecánica, Profesor Investigador de tiempo completo y exclusivo.





Diseño de un sistema fotovoltaico para energizar una bomba para agua utilizada en el cultivo de maíz

Juan Daniel Rivas Martínez, Martin Darío Castillo Sánchez*

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se calculó y selecciono un sistema fotovoltaico para suministrar de energía eléctrica a una bomba centrífuga para agua utilizada en el riego por goteo, para el cultivo de Maíz forrajero seco, en el Municipio de Villa de Reyes, Estado de San Luis Potosí. El cual por ser un municipio que presenta un clima seco templado en la mayoría de su territorio, demanda mayor cantidad de agua para el riego de sembradíos, por la rápida absorción de la tierra y erosión del suelo. Se obtuvo el cálculo de la carga eléctrica promedio requerido por la bomba centrífuga, así como el nivel de insolación promedio mensual y anual en la zona, para determinar los parámetros del sistema de captación, acumulación, conversión, y distribución de la energía eléctrica obtenida del sistema fotovoltaico, se investigó y proporciono información relacionada con los diferentes componentes de un sistema fotovoltaico, así como la descripción de su instalación. Los cálculos financieros demuestran que el proyecto es viable y puede generar un mayor desarrollo agrícola en la región.

ABSTRACT

In the present research work, a photovoltaic system was calculated and selected to supply electricity to a centrifugal pump for water used in drip irrigation, for the cultivation of dry forage corn, in the Municipality of Villa de Reyes, State of San Luis Potosí. Which, for being a municipality that presents a temperate dry climate in most of its territory, demands a greater quantity of water for the irrigation of crops, due to the rapid absorption of the earth and soil erosion. The calculation of the average electrical charge required by the centrifugal pump was obtained, as well as the average monthly and annual insolation level in the area, to determine the parameters of the system for capturing, accumulating, converting, and distributing electrical energy obtained from the photovoltaic system, it was investigated and provided information related to the different components of a photovoltaic system, as well as the description of its installation. Financial calculations show that the project is viable and can generate further agricultural development in the region.

* Instituto Politécnico Nacional, ESIME Zacatenco, Ingeniería eléctrica, Academia de Mecánica, rivas-sigmatron@hotmail.com, Unidad profesional “Adolfo López Mateos”, colonia: Lindavista. C.P: 07738, Alcaldía: Gustavo A. Madero. CDMX. M. en C. Juan Daniel Rivas Martínez. Dr. Martin Darío Castillo Sánchez.

Palabras claves: Panel solar, Inversor, Controlador de carga. Bomba para agua, energía eléctrica.

INTRODUCCIÓN

En el Altiplano de San Luis potosí existe un déficit en el agua para riego, que resulta de la sobre explotación de los mantos acuíferos principalmente en el uso agrícola. Problema que se pretende solucionar con la implementación del riego por goteo. El riego por goteo o también conocido como riego gota a gota consiste en un método de irrigación utilizado usualmente en zonas áridas y que se caracteriza básicamente en el uso de pequeños caudales a baja presión y por una aplicación lenta del agua y en la proximidad de la planta, para de este modo hacer un uso óptimo de los recursos tales como el agua y los abonos o fertilizantes. (Jasso Chaverra & M Ángel, 2003). En particular el sembradío de maíz presenta características de riego específicas entre las cuales se recomienda la aplicación de riegos ligeros sin llegar a un encharcamiento del cultivo, por este motivo se considera en el presente trabajo realizar el riego por goteo, lo que permitirá controlar el volumen de agua y el tiempo de suministro. Para la alimentación de la bomba de agua para el riego se propone un sistema fotovoltaico.

ANTECEDENTES

El agua es un insumo de enorme importancia en las actividades del ser humano. Es en la producción de alimentos en donde se destina la mayor cantidad de agua dulce disponible. Esto implica que para satisfacer las necesidades de una creciente demanda de alimentos deberán realizarse mejoras sustanciales en la infraestructura de riego y el uso de tecnologías modernas en su aplicación, que mejoren la eficiencia y aumenten la productividad por unidad de superficie, sobre todo en las zonas donde el agua es cara y muy escasa. La FAO (2002) estima que la disponibilidad de agua dulce es ya una situación crítica en varios países y regiones, y es muy probable que este problema se intensifique. La agricultura absorbe entre 70 y 77% del consumo mundial. Ante la necesidad de implementar un manejo más eficiente del agua y de los fertilizantes en el cultivo de maíz, actualmente se está proponiendo el uso del sistema de riego por goteo debido a su mayor eficiencia en el uso del agua. Sin embargo, este sistema se ha usado muy poco en cultivos de grano, principalmente por temas de rentabilidad del sistema, experiencia en el manejo de este, entre otros. Por otro lado, el cultivo de maíz es muy sensible al déficit hídrico, especialmente en la etapa de floración, donde la falta de agua afecta seriamente. Para evitar estas condiciones de estrés y aspirar a mayor rendimiento en el cultivo, El sistema de riego por goteo es hasta ahora uno de los más eficientes, se logra gran uniformidad en el riego, evita la contaminación del suelo y los mantos freáticos,





conserva el suelo, reduce la presencia de malezas, además eleva la producción y la calidad del cultivo. Figura 1.



Figura 1. Riego por goteo, una alternativa para la producción de maíz de alto rendimiento.
Fuente: (Bahena, Tornero. 2007).

El uso del agua y el rendimiento del cultivo de maíz

El riego rodado o por inundación tiene una eficiencia muy baja en el uso del agua, donde con “buen manejo” apenas se rebasa el 50 %, mientras que con el riego por goteo se tiene una mejor utilización del recurso alcanzando eficiencias que van del 90 al 95 %. Esto sin lugar a duda se traduce en un ahorro muy significativo en la cantidad de agua aplicada, además, si se extrae de pozos profundos los costos de electricidad o combustible se reducen. Además, mediante este sistema se pueden inyectar otros insumos (fertilizantes, herbicidas, insecticidas, etc.), donde su eficiencia de uso también se mejora considerablemente, permitiendo emplear dosis más bajas y controladas e indirectamente los impactos al medio ambiente se ven reducidos. Tabla 1. (Bahena, Tornero. 2007).

Tabla 1. Agua aplicada en maíz para grano en dos sistemas de riego. (Fuente: Bahena, Tornero. 2007).

Sistemas de riego.	No: de riegos.	Agua utilizada. (m ³)	Diferencia (m ³)	Ahorro de Agua. (%)
Goteo	58	761	6,953	90.1
Gravedad	10	7,714		

DESARROLLO DEL TEMA

Levantamiento en el sitio.

Este proyecto se localizó en el municipio de Villa de Reyes; en el estado de San Luis Potosí, entre el paralelo 22°, 00' y 21°,40'. Colinda con los municipios de Villa de Arriaga y San Luis Potosí, donde el clima que predomina es el Seco y Semi seco en un 67.3%. Figura 2.



Figura 2. Muestra el terreno ubicado en el municipio de Villa de Reyes, en el estado de San Luis Potosí.
(Fuente: Google maps).

Para poder obtener una idea de cuantas mazorcas podemos albergar en el terreno, es necesario conocer el área total de dicho terreno.

Cálculo del área en el terreno. Figura 3.

El terreno se divide en dos partes para facilitar el cálculo.

Rectángulo

$$A = \text{base} * \text{altura} = 240.16\text{m} \times 100.57\text{m}$$

$$A = 24145.89 \text{ m}^2$$

Triángulo:

$$A = \frac{(\text{base})(\text{altura})}{2} = \frac{(100.57)(42.46)}{2} = 2135.10 \text{ m}^2$$

$$A_T = 24145.89 \text{ m}^2 + 2135.10 \text{ m}^2 = 26287.99 \text{ m}^2$$

Después de obtener el área total del terreno, se puede hacer una distribución de tuberías. Tabla 2.

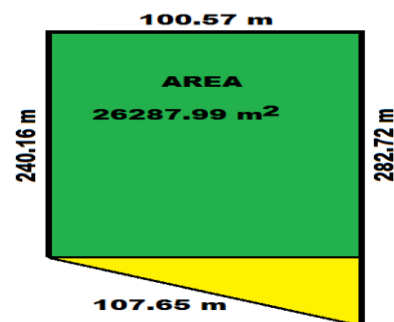


Figura 3. Dimensiones del terreno ubicado en el municipio de Villa de Reyes, en el estado de San Luis Potosí.
(Fuente Autoría Propia)



Tabla 2. Resumen de datos para la distribución del sistema de riego. (Fuente: Autoría Propia)

Artículo
Bomba 5 HP, CD
Diámetro de tubo de goteo: 16 mm.
Caudal regulado de goteo: 8 L/H
Separación entre goteros: 30 cm.
Separación entre línea de goteo: 60 cm.
Presión mínima en gotero: 1 Bar.
Presión máxima en gotero: 3.5 Bar
No. de línea de goteo por cada salida: 3.
No. Total, de salidas a línea: 155
Longitud tubo general: 278.72 m
Longitud tubo ciego entre salida y ramificación: 1.8 m
Presión requerida: 724.021 m.c.a
Caudal total: 1144.192 L/H
Diámetro tubo general: 100 mm
Orificio collarín: 7 mm
Pendiente: 2%.

Considerando el tamaño del terreno y la manera en que está ubicado, se toma como ramal principal la distancia de 282.72 m; que es la distancia más larga, dejando un espacio para paso y mantenimiento de 2 metros en cada lado. Las líneas de cultivo se dividen en peines, cada peine con 3 líneas de goteros. A su vez se divide el terreno en 3 parcelas, las cuales tendrán válvulas de control para cualquier mantenimiento futuro. Considerando los 4 m que se dejarán libres para paso se tiene que la distancia real en el ramal principal es de 278.72 m.

Esta distancia se divide en 3 lados iguales que son las parcelas

$$\text{Una parcela} = \frac{278.72}{3} = 92.90 \text{ m}$$

Para obtener el número de líneas de cultivo que se tendrán en el riego, se divide la longitud del ramal principal entre la distancia que se tiene de línea a línea

$$\text{Numero de Lineas} = \frac{278.72}{0.6} = 464.53 \text{ m}$$

El resultado se divide entre 3 para conocer cuántas líneas de cultivo corresponden a cada parcela

$$\text{Numero de líneas por parcela} = \frac{464.53}{3} = 155$$

Este es el número de líneas de goteros, sin embargo, estas están divididas en peines o líneas principales, de 3 líneas de goteros cada uno esto es.

$$\text{Lineas principales o peines} = \frac{155}{3} = 52$$

Esto quiere decir que se tienen 52 peines o líneas principales de las cuales se derivan 3 líneas de goteros, esto con la finalidad de tener control en secciones más pequeñas.

Cálculo del Caudal y dimensionamiento de tuberías.

El caudal máximo que se espera dentro de la tubería del ramal principal depende de la demanda que generan las líneas de riego y a su vez estas dependen del caudal demandado en los goteros, por lo tanto:

No. de líneas = 465 líneas

Distancia más larga en línea = 100 m

Distancia más corta de línea = 6.3 m

Para el cálculo del caudal, se debe conocer el total de goteros que utilizara el sistema de riego, por lo tanto, aun considerando las dos partes en las que se dividió el terreno para obtener el área, se tiene que, para la primera parte que representa un rectángulo el número de líneas que se colocan está dado por:

$$\text{No. de líneas de 100 m} = \frac{236.16}{0.6} = 393.6 \cong 394$$

Para la segunda parte que nos representa un triángulo rectángulo el número de líneas está dado por:

$$\text{No. de líneas menor a 100 m} = \frac{42.56}{0.6} = 71$$

Se obtienen el número de goteros por línea:

$$\text{Goteros por línea de 100 m} = \frac{100}{0.3} = 333$$

Total, de goteros en líneas menores de 100 m

$$\text{Total de goteros} = \frac{(333)(71)}{2} = 11,822$$

Total, de goteros en líneas de 100 m

Total, de goteros = (333) (394) = 131,202

Con esto se calcula el total de goteros en el sistema, que no es más que la suma de los goteros en líneas de 100 m y líneas menores de 100 m.

Goteros totales = 131,202 + 11,822 = 143,024

Recordando que, el caudal por gotero es 8 l/h

1 l/h = 0.001 m³ / h

Se calcula el caudal total.

$$Q_{\text{Total}} = (8 \text{ l/h por gotero}) (143,024 \text{ goteros})$$

$$Q_{\text{Total}} = 1,144,192 \text{ l/h} = 1144.192 \text{ m}^3/\text{h}$$



Dimensionamiento de tuberías.

Se propone una tubería de PVC-CED 40 de 4" de diámetro para la salida de la bomba y el ramal principal hasta el término de la primera parcela, donde se disminuirá, el diámetro de la tubería a media pulgada, entre cada parcela.

En este caso la tubería estará enterrada a 50 cm de profundidad como mínimo.

Sabiendo que la velocidad está dada por la ecuación 1. (Kenna,1985)

$$Velocidad = \frac{\text{Flujo volumetrico}}{\text{superficie}} \quad (1)$$

Calculando la superficie se tiene que:

$$S = \pi (2)^2 = 12.57 \text{ pulga}^2$$

$$S = 0.008 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{1144.192 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{0.008 \text{ m}^2} = 143024 \frac{\text{m}}{\text{h}}$$

$$V = 39.729 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

El terreno cuenta con un pozo de agua, entubado para el suministro de agua al sembradío. Su nivel freático se encuentra a una profundidad de 6.5 m con respecto al piso. Es un dato importante para la presión que debe proporcionar la bomba o también conocida como altura manométrica (H) que está dada por la ecuación 2: (Kenna,1985)

$$H = H_g + \Delta p \quad (2)$$

Donde:

H = Altura manométrica

H_g = Altura que presenta el pozo de agua, de 6.5 m

Δp = Es la suma de pérdidas en elementos del sistema.

Pérdidas de carga en la instalación. Tabla 3.

Para este proceso se calculan:

Δp total = Σ (pérdidas en tramos rectos) + (pérdidas en puntos y elementos del sistema) + (pérdida en goteros).

Tabla No. 3. Pérdidas en el sistema. (Fuente: Autoría Propia)

Descripción	Cantidad piezas	Pérdidas de elementos en el sistema Tramo recto 278.72 m	Pérdidas de elementos en el sistema Tramo recto de 100 m	Pérdidas de carga en tramos rectos	Pérdidas en el gotero
Válvula de Bola de 4" de diámetro	3	0.543	0.008463		
Derivaciones: Tee de 4"	154	195.58	3.03996		
Tramo recto 278.72 m				506.3	
Tramo recto 100 m				11.87	
Cintilla de 20 mm de diámetro					0.18
Pérdidas totales del sistema = 717.53					

Con la altura del pozo y las pérdidas en el sistema, se obtiene la altura manométrica:

$$H = 6.5 \text{ m} + 717.5214 = 724.0214 \text{ m.c.a}$$

Selección del equipo de bombeo.

Conociendo la presión y el caudal total, se puede hacer una selección acertada de la bomba que utilizara el sistema de riego.

El primer paso es el cálculo de la potencia que utilizara la bomba mediante la siguiente expresión, ecuación 3: (Kenna,1985)

$$P = \frac{KW}{h} = \frac{Q \cdot h}{365 \cdot \eta} \quad (3)$$

Dónde



Caudal suministrado por la bomba.

$$Q = 1144.192 \text{ m}^3/\text{h}$$

Altura de impulsión

$$H = 724.0214 \text{ m}$$

Rendimiento de la bomba

$$\eta = 0.6$$

Sustituyendo:

$$\text{Potencia de bomba} = 5 \text{ HP.}$$

$$P = \frac{[1144.192 \text{ m}^3/\text{h}][724.0214 \text{ m.c.a}]}{[365] [0.6]} = 3.78 \text{ kW}$$

Diseño del sistema fotovoltaico.

Como primer término se toma la orientación e inclinación más favorable para los paneles a calcular, para esto se tiene previamente en consideración las dimensiones del panel a instalar. La inclinación de los módulos es el ángulo que forman estos con la horizontal, y para el máximo rendimiento anual se considera como ángulo de inclinación óptimo la latitud del lugar menos 10°.

Teniendo en consideración la potencia de la bomba, que es de 3.78 kWh, se selecciona una bomba de 5 hp tenemos que el consumo promedio para esta misma es 3.78 kWh por 8 h = 30.24 kWh/día. Para el cálculo del número de paneles solares (N_{mód}) necesarios para satisfacer la demanda eléctrica prevista por la bomba de agua, se empleará la expresión siguiente ecuación 4: (Harper, 2010)

$$N_{\text{mod}} = \frac{C_{\text{ed}}}{(PMP)(HSP_{\text{crit}})(PR)} \quad (4)$$

Donde:

Consumo diario estimado

$$C_{\text{de}} = 30,240 \text{ kWh}$$

Potencia pico del módulo seleccionado

$$PMP = 370 \text{ W}$$

Horas de sol pico

$$HSP_{\text{crit}} = 3.7 \text{ HPS}$$

Performance ratio

$$PR = 0,845$$

$$N_{\text{mod}} = \frac{30240}{(370)(3.7)(0.845)} = 26.14 = 27$$

Para establecer la conexión entre módulos, ya sea en serie o paralelo, teniendo en cuenta que el módulo seleccionado, tipo GXB-370-SM, del fabricante SUPREME, tiene una tensión en el punto de máxima potencia (VMP) de 42.5 V, resulta que el número de paneles necesarios que habrá que colocar en serie para alcanzar la tensión nominal de trabajo del motor eléctrico de la bomba, que es de 250 V, vendrá dado por la siguiente (Harper, 2010)

$$N_{\text{serie}} = \frac{250 \text{ v}}{VMP} = \frac{250 \text{ v}}{42.5 \text{ v}} = 5.88 \cong 6$$

Dado que el regulador puede soportar hasta 375 VCD podemos configurar los paneles en serie como indica en la ecuación 5.

$$N_{\text{serie}} = \frac{375 \text{ v}}{VMP} = \frac{375 \text{ v}}{42.5 \text{ v}} = 8.82 \quad (5)$$

Paneles máximos que se pueden colocar en serie, para este caso solamente se colocaran 7.

Mientras que el número de paneles a colocar en paralelo será calculado mediante la expresión siguiente ecuación 6: (Harper, 2010)

$$N_{\text{paralelo}} = \frac{N_{\text{mod. Total}}}{N_{\text{serie}}} = \frac{27}{7} = 3.85 \cong 4 \quad (6)$$

Por lo tanto, finalmente el sistema generador fotovoltaico constará de 4 ramales conectados en paralelo, y cada ramal constará de 7 paneles GXB-370-SM colocados en serie por ramal. En total, 28 paneles GXB-370-SM.

Selección del regulador.

Para la selección del regulador de carga es necesario calcular cuál será la máxima corriente que deberá soportar, tanto en la entrada como a la salida del propio regulador.

Para el cálculo de la máxima corriente de entrada al regulador (I_{Re}), que proviene directamente de los módulos fotovoltaicos, se empleará la siguiente expresión ecuación 7: (Harper, 2010)

$$I_{\text{Re}} = 1.25 * ISC * N_{\text{paralelo}} \quad (7)$$

Donde:

Intensidad de cortocircuito del módulo fotovoltaico seleccionado de valor, (ISC) = 10 A (CEM).

Número de ramales de paneles solares dispuestos en paralelo del generador fotovoltaico que se vaya a instalar, (N_{paralelo}) siendo en este caso, 4 ramales.

Factor de seguridad para evitar daños ocasionales al regulador. 1.25



Sustituyendo en la expresión del cálculo de la intensidad de entrada al regulador (IRE) los valores anteriores, se obtiene el siguiente resultado: (Harper, 2010)

$$IRE = 1.25 * ISC * Nparalelo = 1.25 * 10 * 4 = 50 A$$

Para el cálculo de la máxima corriente esperada a la salida del regulador (IRS), es decir, del lado de la instalación que alimenta a la bomba de agua, se empleará la siguiente expresión ecuación 8: (Harper, 2010)

$$IRS = \frac{(1.5)(PDC)}{VB} \quad (8)$$

Por lo tanto, el regulador que se seleccione deberá soportar al menos una corriente aproximada de 50 amperios en su entrada y de 24 amperios a su salida.

Donde:

La potencia de las cargas en corriente directa que haya que alimentar, que en este caso es la potencia nominal de la bomba.

PDC = 5 hp.

La tensión nominal de la bomba de valor 250 VCD

Factor de seguridad de 1.5 para tener en cuenta los picos de corriente que puedan producirse en el arranque de la bomba. (Harper, 2010)

$$IRS = \frac{1.5 * 4}{250} = 24A$$

Por lo tanto, el regulador que se seleccione deberá soportar al menos una corriente aproximada de 50 amperios en su entrada y de 24 amperios a su salida

CONCLUSIONES.

El proyecto es viable, las condiciones geográficas del lugar y la baja accesibilidad al servicio eléctrico nacional permiten que este tipo de instalaciones de generación eléctrica se vuelvan una opción importante para las comunidades rurales.

En el desarrollo de este trabajo pudimos constatar que en la tecnología fotovoltaica se observan dos fenómenos físicos que nos permiten generar energía eléctrica por medio de la radiación solar, estos fenómenos son termoelectrónicos y fotoeléctricos.

Los sistemas fotovoltaicos en la actualidad han alcanzado un gran progreso y se mantienen en un constante desarrollo.

La tendencia es que este tipo de tecnología se siga utilizando cada vez más para la generación de energía eléctrica porque ofrece la gran ventaja de siempre contar con energía eléctrica en cualquier lugar ya sea para autoconsumo y/o para la inyección en la red de distribución. El sistema de riego por goteo permite aprovechar al máximo las propiedades de la zona de trabajo, ayuda al ahorro de agua y evita el desperdicio de recursos.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- [1] Sergio Zepeda C. (2002) *Manual de Instalaciones Hidráulicas, Sanitarias, Aire, Gas y Vapor*. Segunda edición, México. Editorial Limusa/ 675 pág.
- [2] Jasso Chaverra & M Ángel. (2003). *Guía para la producción de Chile Ancho con fertirriego y acolchado plástico en el altiplano de San Luis Potosí*. México.
- [3] Bahena Delgado, Gregorio, y Mario Alberto Tornero, Campante.(2007). *La tecnología de micro irrigación, una alternativa para el manejo sustentable del agua en la producción de maíz en el estado de Morelos*, México. Agricultura. Núm. 809.
- [4] (Grundfos). (2013). *Sistema de suministro de agua basados en energía renovables 50/60 Hz*. Madrid, España. Disponible en línea: <https://docplayer.es/14077980-Catalogo-grundfos-sqflex-sistemas-de-suministro-de-agua-basados-en-energias-renovables-50-60-hz.html>
- [5]Harper Enríquez, (2010). *Instalaciones Eléctricas domesticas convencionales y solares fotovoltaicos*. Editorial: Limusa, México.
- [6] Arija Gonzales, D. (2010). *Prototipo de sistema de bombeo fotovoltaico para proyectos de Cooperación del Desarrollo con Tecnologías Apropriadadas*. Universidad Carlos III de Madrid. Disponible en línea en: <https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/10871/PROYECTO%20fina.%20David%20Arija%20Gonzalez.pdf>
- [7] Kenna, J., Gillet, B., & Gillett, W. B. (1985). *Solar water pumping: A Handbook*. Handbook.

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Juan Daniel Rivas Martínez: Ingeniero Mecánico, egresado de ESIME, IPN. Maestro en Mecánica, Profesor de tiempo completo y exclusivo, especialista en Celdas de Manufactura y Robótica Industrial.

Martín Darío Castillo Sánchez: Ingeniero Mecánico, egresado de ESIME, IPN. Doctor en Ingeniería mecánica, Profesor Investigador de tiempo completo y exclusivo.



Diseño de un sistema fotovoltaico interconectado a la red para la alimentación de una escuela primaria en una comunidad de Guerrero

Martín Dario Castillo Sánchez, María de Jesús Velázquez Vázquez, Juan Daniel Rivas Martínez*

RESUMEN

El objetivo de este trabajo de investigación es diseñar un sistema fotovoltaico interconectado a la red para generar energía eléctrica a la escuela primaria de la comunidad de Igualita, Guerrero. Se desarrolló considerando la energía solar de la zona geográfica, determinando la energía que demanda la escuela; y calculando el número de paneles fotovoltaicos, controladores de carga, baterías, ya que la escuela cuenta con la suficiente infraestructura para implementar un sistema fotovoltaico interconectado a la red, se obtuvieron las dimensiones y ángulos de inclinación óptimos para la disminución de pérdidas eléctricas, así como la selección de los conductores y protecciones que garantizarán una vida útil del SFI más prolongada, de manera satisfactoria se llevó a cabo el diseño del sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica con las características necesarias para dotar de energía eléctrica al edificio de la escuela primaria Cuauhtémoc y cubrir con la demanda energética del mismo, para evitar las interrupciones del suministro eléctrico en dicha escuela y beneficiar a los alumnos.

ABSTRACT

The objective of this research is to design a photovoltaic system interconnected to the grid to generate electricity at the primary school in the community of Igualita, Guerrero. It was developed considering the solar energy of the geographical area, determining the energy demanded by the school; and calculating the number of photovoltaic panels, charge controllers, batteries, since the school has sufficient infrastructure to implement a photovoltaic system interconnected to the grid, the optimal dimensions and inclination angles were obtained to reduce electrical losses, as well such as the selection of the conductors and protections that will guarantee a longer useful life of the SFI, the design of the photovoltaic system interconnected to the electrical network with the necessary characteristics to provide electrical energy to the elementary school building was carried out satisfactorily. Cuauhtémoc and cover its energy demand, to avoid interruptions in the electricity supply in said school and benefit the students.

Palabras claves: Fotovoltaico, sistema interconectado, controladores, conductores.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, se ha buscado implementar el uso de las energías renovables, debido a que hoy es preocupante la condición del planeta. La agenda 2030, aceptada en 2015, menciona en varios de sus 17 acuerdos la sostenibilidad; más específicamente, el acuerdo número 7 dice que se debe garantizar una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos.

En la escuela primaria Cuauhtémoc, ubicada en la comunidad de Igualita, Guerrero; se han tenido interrupciones en el suministro de energía eléctrica con gran frecuencia; ocasionando con ello la faltas en la operación del proceso de enseñanza aprendizaje, por no brindar las condiciones necesarias para un óptimo desarrollo académico, al utilizar tecnologías de información existentes en la escuela.

En este proyecto de ingeniería se diseñó un sistema fotovoltaico interconectado a la red, con el objetivo de generar energía eléctrica para alimentar seis salones, los cuales utilizan energía eléctrica para la iluminación y equipo de cómputo la mayor parte del día.

El diseño del sistema fotovoltaico se desarrolló considerando la irradiación solar de la zona geográfica, determinando la energía que demanda la escuela; y calculando el número de paneles fotovoltaicos, controladores de carga, baterías, ya que la escuela cuenta con la suficiente infraestructura para implementar un sistema fotovoltaico interconectado a la red.

Las energías renovables son aquellas que se obtienen de fuentes naturales y son inagotables o con capacidad de renovación. Estas energías se han convertido en cierta forma clave para conseguir los Objetivos de Desarrollo Sustentable (ODS) y en el propósito de conseguir la sostenibilidad del mundo. BBVA (2022). Las energías renovables se considera son respetuosas con el medio ambiente, y aunque provoquen efectos negativos sobre el ámbito, son mucho menores que los impactos al medio ambiente que las energías convencionales como combustibles fósiles. Méndez & Cuervo (2006).

Las fuentes de energía renovable cuentan con una clasificación de la variedad de fuentes de energía limpia que podemos utilizar. Entre las energías renovables o también llamadas energías limpias encontramos. Acciona Bunisses as Unusual (2015).

- Energía eólica.
- Energía solar.
- Energía hidráulica o hidroeléctrica.
- Energía geotérmica.

* Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Zacatenco, Departamento de Mecánica, Dr. Martín Dario Castillo Sánchez, C Dr. María de Jesús Velázquez Vázquez, Ing. Juan Daniel Rivas Martínez, Correo electrónico: avinfer@hotmail.com





ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Por otro lado, en las ramas de la energía solar, contamos con la energía solar fotovoltaica, este tipo de energía permite convertir la energía solar directamente en energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico, que consiste en crear un voltaje para producir una corriente eléctrica. El descubrimiento de la energía fotovoltaica es atribuido a Becquerel que en 1839 publicó un estudio describiendo sus experimentos con una batería húmeda, en lo cual encontró que cuando unas láminas de plata eran expuestas a la luz del sol aumentaban su tensión eléctrica. Gil (2008).

Este tipo de energía permite la generación directa de electricidad a partir de la radiación solar. Una de las grandes ventajas de esta tecnología es su modularidad: los paneles (figura 1) se pueden utilizar para autoconsumo (suministro de electricidad en viviendas o edificios) o también para su inyección a la red por parte de grandes centrales eléctricas. BBVA (2022).



Figura 1. Energía solar fotovoltaica

EL EFECTO FOTOELÉCTRICO

Un material semiconductor (el silicio), es expuesto a los rayos solares, que contienen energía luminosa (fotones). Estos fotones aportan energía a los electrones de valencia de los átomos de silicio. Si la energía que aportan es suficiente para vencer la fuerza que mantienen los electrones unidos al átomo, estos electrones se liberan y llegan a formar una corriente de electrones, que se representa por un circuito capaz de encender una lámpara, a esto se le llama efecto fotoeléctrico. Madrid (2009)

COMPONENTES DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

Generalmente, los sistemas fotovoltaicos se componen de los elementos que se muestran a continuación en la figura 2.

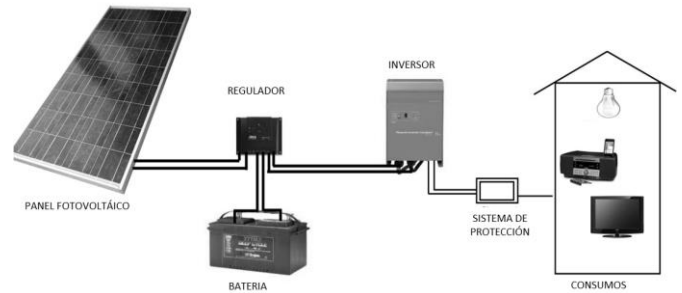


Figura 2. Componentes de un sistema fotovoltaico

Nota: Componentes de un sistema fotovoltaico. Obtenido de: <https://www.odins.es/soluciones/control-de-produccion-de-energia-fotovoltaica/>

PANEL FOTOVOLTAICO

El módulo fotovoltaico es un dispositivo que absorbe la energía del sol e inicia el proceso de transformación en energía eléctrica. Así mismo, el módulo fotovoltaico constituido por células fotovoltaicas individuales conectadas eléctricamente entre sí, las cuales, entregan en la salida de cada módulo la energía por medio de dos terminales. Está recubierto por un material semiconductor que es sensible a la luz, generalmente el silicio; el cual genera energía eléctrica cuando es expuesto a la radiación solar por medio del efecto fotovoltaico. Díaz y Carmona (2018), Enel Green Power (2022).

BATERÍAS

En el caso de los sistemas fotovoltaicos aislados, se hace uso de baterías que almacenen energía debido a que la energía del sol que llega a los módulos fotovoltaicos, no lo hace de manera uniforme, es decir, algunas veces se presentan variaciones como las nubosidades que en algún momento no permiten que la energía solar incida de una manera satisfactoria en el panel. Casa & Barrio (2017).

Las baterías en sistemas fotovoltaicos tienen la capacidad de transformar energía química en eléctrica y viceversa. En el proceso de generación, las baterías reciben energía eléctrica proveniente de los paneles fotovoltaicos; las baterías la transforman en energía química y entonces se encuentran en una fase de almacenamiento. Luego, en la fase de consumo las baterías transforman la energía química almacenada en ellas en energía eléctrica para su utilización. Díaz & Carmona (2018). En la tabla 1, se muestran los tipos de baterías utilizadas principalmente en sistemas fotovoltaicos.

Tabla 1. Características de los principales tipos de baterías

Tipo de batería	Tensión por vaso (V)	Tiempo de recarga hr.	Auto Descarga por mes %	Nº de ciclos	Capacidad (por Tamaño) Wh/kg	Precio



Plomo-ácido	2	8-16	<5	Medio	30-50	Bajo
Ni-Cd (Níquel Cadmio)	1.2	1	20	Elevado	50-80	Medio
Ni-Mh (Níquel-Hidruro de metal)	1.2	2-4	20	Medio	60-120	Medio
Li ion (ión litio)	3.6	2-4	6	Medio-Bajo	110-160	

Nota: Tabla de las características de los tipos de baterías. Extraída de <https://deltavolt.pe/general/baterias-de-litio-para-panel-solar/e>

REGULADOR

Se encarga de controlar las cargas y descargas de la batería, protegiéndola, evitando averías y por lo tanto extendiendo la vida útil de las baterías, es un equipo capaz de evitar la sobrecarga del acumulador a la vez que limita la tensión de la batería a unos valores adecuados para el mantenimiento. Alcor (2002).

El regulador opera en dos zonas: la zona de carga y la zona de descarga. En la zona de carga, su objetivo es asegurar que las baterías tengan una carga suficiente, pero al mismo tiempo, evitando sobrecarga. En la zona de descarga tiene como objetivo garantizar un consumo satisfactorio, pero al mismo tiempo, evitando descarga excesiva de las baterías. Díaz & Carmona (2018).

INVERSOR

Un inversor de corriente es uno de los elementos más esenciales de las instalaciones de los paneles fotovoltaicos, ya sean instalaciones fijas o aisladas, aunque no son exclusivos de estas. Los inversores de corriente, también conocidos como convertidores, son dispositivos electrónicos que básicamente se encargan de transformar la corriente continua en corriente alterna igual a la utilizada en la red eléctrica (en el caso de la República Mexicana, 127 VAC, 60Hz), para que pueda ser utilizada sin que ocasione daños. Guzmán y Arsenio (2016).

INSTALACIONES CONECTADAS A LA RED

La instalación fotovoltaica conectada a la red (figura 3) se caracteriza por la inyección de energía eléctrica a la red, ya sea con fines de venta de la electricidad del sistema fotovoltaico o como aportación de energía a la red eléctrica. En un sistema fotovoltaico conectado a la red, se produce una conversión de la corriente continua proporcionada por el generador fotovoltaico, en corriente alterna, de iguales características en cuanto a tensión y frecuencia que la que está circulando por la red eléctrica. Este proceso de conversión es totalmente automático, al no requerir la intervención directa del usuario. Carmona G y Díaz T. (2018).

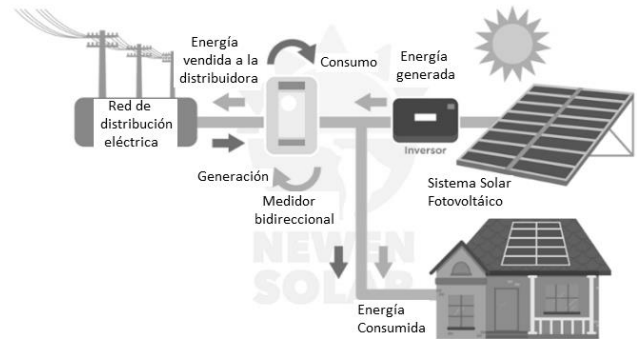


Figura 3. Instalación fotovoltaica conectada a la red

Nota: Instalación fotovoltaica conectada a la red. Extraída de: <https://www.helioesfera.com/instalacion-fotovoltaica-aislada/>

DESARROLLO

DETERMINACIÓN DE LAS CARGAS

Para el cálculo de las cargas se tomaron en cuenta seis computadoras las cuales consumen 220 W por un tiempo de seis horas al día, seis proyectores de 200 W por un tiempo de seis horas al día, en los seis salones de la escuela se encuentran doce contactos y diez luminarias, las cuales por el horario de trabajo se utilizan durante seis horas al día (Tabla 2).

Para saber la carga de contactos en W se utiliza la ecuación 1.

$$W = (Con) (180 VA) \quad (1)$$

$$W = (12 \text{ contactos}) (180 VA) = 1944 W$$

Donde:

W= Watts totales de los contactos

Con= Contactos totales utilizados

Tabla 2. Cuadro de cargas

No.	Equipo	Can tidad	Carga por unidad (W)	Tiempo de utilización (hrs)
1	Computadora	6	220	6
2	Proyector	6	200	6
3	Contactos	12	162.3	6
4	Luminaria	10	15	6
Total, de las cargas				4,614 W/h
Total, de las cargas por el tiempo de utilización				27,684 Wh/d

ORIENTACIÓN DE LOS PANELES

En nuestro caso el techo de la escuela primaria es completamente plano por lo cual podemos aprovechar el mayor espacio posible, por lo cual, orientación de nuestros paneles fotovoltaicos tiendo en



cuenta que la trayectoria que sigue el sol sobre nuestro planeta durante un día es de Este a Oeste, pero la trayectoria que sigue durante un año es de Norte a Sur, esto nos indica que los paneles fotovoltaicos debería estar orientados hacia el Sur ya que con esto logramos la mayor captación de luz solar en todo el día.

INCLINACIÓN DE LOS PANELES

Para obtener la máxima cantidad de luz solar sobre los paneles durante el día, los paneles fotovoltaicos se deben colocar orientados directamente donde se encuentra el sol y con la ecuación 2, se encuentra la inclinación óptima:

$$\alpha_{opt} = 3.7 + (0.69 * \text{latitud del lugar}) \quad (2)$$

La latitud donde se encuentra la escuela primaria es 17.27° , por lo tanto:

$$\alpha_{opt} = 3.7 + (0.69 * 17.27) = 15.6163^\circ \quad (3)$$

La inclinación de los paneles fotovoltaico debe de ser de 15.6163° , se recomienda que el ángulo de inclinación sea mayor a 15° grados ya que, con esto logramos que cuando llueva el agua escurra y no se quede estancada, por lo cual también se limpiar el polvo que se adhiere en los paneles.

ELECCIÓN DE LOS PANELES FOTOVOLTAICO

Se seleccionó el panel fotovoltaico de 500 W (figura 4) monocristalino de la marca EVANS®, la elección de este panel fotovoltaico fue gracias a su potencia máxima nominal, a el material con el que está fabricado, ya que tiene mayor eficiencia que otros paneles consultados, además de que este panel nos permite operarlo sin muchos problemas gracias a sus múltiples configuraciones de montaje.

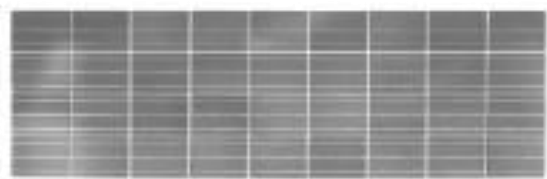


Figura 4. Panel fotovoltaico

DISTANCIA MÍNIMA ENTRE FILAS DE LOS PANELES

La distancia mínima de separación entre filas depende del ángulo de inclinación de estos, así que cuanto más inclinado este el panel, deberá estar más separado uno del otro como se muestra en la figura 5.

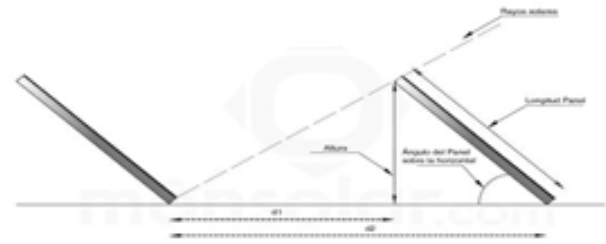


Figura 5. Separación entre paneles fotovoltaicos

Nota: Separación entre Panel fotovoltaico. Obtenido de: <https://www.monsolar.com/blog/calcular-la-separacion-entre-filas-de-placas-solares-para-evitar-sombras/>

Donde:

dmin: Distancia mínima entre cada arista del panel fotovoltaico.

a: Distancia de la arista inferior de un panel fotovoltaico a la arista inferior.

b: Distancia de la arista inferior del panel a la arista superior respecto a la horizontal.

L: Longitud del panel fotovoltaico.

h: Altura del panel fotovoltaico.

β : Grado de inclinación del panel respecto a la horizontal.

θ : Angulo de la sombra respecto a la horizontal.

Teniendo el ángulo de inclinación del panel fotovoltaico y el largo del panel fotovoltaico podemos calcular la altura del mismo, utilizando las ecuaciones 4, 5, 6.

$$h = \text{sen}(\beta) * L = (\text{Sen}(15.6163^\circ) * (2.05 \text{ m})) = 0.5518 \text{ m} \quad (4)$$

Considerando que el bloque de hormigón mide 40 cm, entonces:

$$h = \text{sen}(\beta) * L + h_{norm} = 0.5518 \text{ m} + 0.40 \text{ m} = 0.9518 \text{ m} \quad (5)$$

Con la formula anterior calculamos la distancia b:

$$b = \text{cos}(\beta) * L = (\text{Cos}(15.6163^\circ) * (2.05 \text{ m})) = 1.9743 \text{ m} \quad (6)$$

La sombra junto con el panel fotovoltaico forma un triángulo escaleno, por lo tanto, podemos calcular la distancia respecto a la horizontal que proyecta la sombra, utilizando la ecuación 7.

$$a = \frac{h}{\text{tanan} \theta} = \frac{1.9743 \text{ m}}{\text{tanan}(74.3837)} = 1.2275 \text{ m} \quad (7)$$

Una vez obtenida las distancias se suman para obtener la distancia mínima entre aristas de los paneles fotovoltaicos, mediante la ecuación 8.



$$d_{\min} = a + b = 1.2275 \text{ m} + 1.9743 \text{ m} = 3.2018 \text{ m} \quad (8)$$

Por lo que la distancia entre cada panel sería la d_{\min} menos la distancia del panel fotovoltaico (2.05 m), por lo cual la distancia obtenida es de: 1.1518 m.

CÁLCULO DEL NÚMERO DE PANELES

Teniendo en cuenta la selección del panel fotovoltaico en base al tamaño de la escuela, tenemos que la potencia máxima nominal es de 500 W la cual se encuentra en el anexo B.

Para determinar el número de paneles que se utilizarán, debemos contabilizar las pérdidas por diversos factores. Contabilizando las pérdidas tenemos:

- Pérdidas por conversión de energía = 5%
- Pérdidas por Cableado = 1
- Pérdidas por efectos de Temperatura = 15 % promedio
- Pérdidas por polvo y sombreado mínimo = 6 % promedio

El cual nos da un total del 27 % pero tomando en cuenta lo anterior se recomienda considerar un 30 % extra.

Por lo tanto, utilizando la ecuación 9, tenemos:

$$E_{\text{real}} = \left(27,684 \frac{\text{Wh}}{\text{día}} \times 0.3 \right) + 27,684 \frac{\text{Wh}}{\text{día}} = 35,989.2 \quad (9)$$

Calculando la potencia suministrada por los paneles fotovoltaicos, obtenemos que se utilizarán 6 horas pico/día en promedio, ver tabla 3.1, se tiene por la ecuación 10.

$$P_{\text{FV}} = \frac{E_{\text{real/día}}}{\text{Hora-pico/día}} = \frac{35,989.2 \text{ Wh/día}}{6 \text{ horas-pico/día}} = 5,998.2 \text{ W} \quad (10)$$

Recordando que cada panel fotovoltaico es de 500 W de potencia máxima nominal, el número de paneles calculado es de acuerdo con la ecuación 3.11.:

$$\begin{aligned} \text{N}^\circ \text{ de paneles} &= \frac{P_{\text{FV}} \text{ (en W)}}{P_{\text{mpp del modulo}} \text{ (en W)}} = \frac{5,998.2 \text{ W}}{500 \text{ W}} \\ &= 11.9964 \approx 12 \text{ paneles} \end{aligned} \quad (11)$$

Finalmente tenemos que son 11.9964 paneles, por lo tanto tenemos que utilizar doce paneles fotovoltaicos.

SELECCIÓN DEL INVERSOR

Debido a los cálculos de la potencia requerida por los paneles fotovoltaicos, podemos decir que necesitamos un inversor de 5,998.2 W, quedando así en 6000W.

Por lo tanto, el inversor seleccionado es de 6500 W marca SunGoldPowerCo®. UL1741, el fabricante asegura que la eficiencia del inversor es del 93%, de acuerdo a la ecuación 12.

$$P_{\text{sum}} = P_{\text{inv}} * (0.93\%) = 6500 \text{ w} * (0.93) = 6045 \text{ W} \quad (12)$$

ARREGLO DE LOS PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS

El arreglo consistirá en la conexión de los paneles fotovoltaicos, en serie y paralelo, tomando las especificaciones de los mismos, se puede ver en la tabla 3.

Tabla 3. Características de los equipos seleccionados

Panel fotovoltaico	Inversor SunGold PowerCo®		
Evans®			
Voc (V)	46.80	Max Isa (A)	27.7
Vmp (V)	39	Vmax DC(V)	390
Isc (A)	13.40	Rango de Voltaje	120- 390
Potencia (W)	500	Potencia Max (W)	6500

Con los datos obtenidos podemos calcular la cantidad máxima de paneles fotovoltaicos en serie que podemos utilizar, por lo tanto, se necesita conocer Vmax DC del inversor y el Voc del panel fotovoltaico utilizando la ecuación 13, tenemos que:

$$N_{\text{serie}} = \frac{V_{\text{inv}}}{V_{\text{oc}}} = \frac{390 \text{ V DC}}{46.80 \text{ V}} = 8.3 \quad (13)$$

Y para determinar la cantidad mínima, en la ecuación 14.

$$N_{\text{serie}} = \frac{V_{\text{inv}}}{V_{\text{oc}}} = \frac{120 \text{ V}}{39 \text{ V}} = 3.07 \quad (14)$$

Una vez obtenidos los datos en serie, necesitamos el número de paneles fotovoltaicos conectados en paralelo, por lo que utilizando la ecuación 15, obtenemos lo siguiente:

$$N_{\text{paralelo}} = \frac{I_{\text{inv}}}{I_{\text{sc}}} = \frac{27.7 \text{ A}}{13.40} = 2.06 \quad (15)$$

Una vez obtenidos los datos anteriores, el arreglo quedaría con seis paneles fotovoltaicos colocados en serie y dos filas colocadas en paralelo.

Para poder asegurar si los seis módulos conectados en serie no rebasan la tensión de entrada del inversor se realiza la siguiente operación en la ecuación 16.

$$(6 \text{ modulos}) * (39 \text{ v}) = 234 \text{ V} \quad (16)$$

Esto quiere decir que los seis módulos conectados en serie se encuentran dentro del rango de tensión de entrada del inversor.

Se tiene que corroborar que los módulos conectados en paralelo no sobrepasen la corriente del inversor, por lo cual en la ecuación 17 tenemos:

$$(2 \text{ modulos}) * (13.40 \text{ v}) = 26.8 \text{ A} \quad (17)$$



Demostramos que ni la tensión, ni la corriente sobrepasan los límites determinados, entonces nuestro arreglo es correcto.

DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE INVERSORES

Sabiendo el número total de arreglos y el número total de paneles, podemos determinar el número de inversores que utilizaremos, con la ecuación 18 tenemos que.

$$\text{Numero}_{inv} = \frac{M}{\text{Numero}_{arreglo}} = \frac{12}{12} = 1 \text{ Inversor} \quad (18)$$

Para corroborar que el número de inversores sea el correcto, podemos multiplicar el número de inversores por la máxima potencia de cada una y compararla con la cantidad de potencia total de la carga, en la ecuación 19 tenemos:

$$(1 \text{ Inversor}) * (6500 \text{ W}) = 6500 \text{ W} \quad (19)$$

Con esto comprobamos que efectivamente, con un inversor nos es suficiente para abastecer nuestro arreglo.

ESTRUCTURA DE SOPORTE

Se seleccionó una estructura metálica capaz de soportar seis paneles fotovoltaicos, como se muestra en la figura 6., el sistema de montaje que se emplea es instalable en azoteas planas.

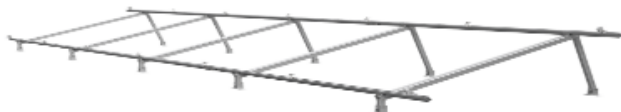


Figura 6. Sistema de montaje vertical para paneles fotovoltaicos

Nota: Estructura metálica para el soporte de paneles fotovoltaicos. Obtenido de: <https://solida.com.mx/sbv1.html>

Para esto se implementaran dos estructuras para nuestro arreglo, los seis paneles fotovoltaicos quedarían como se muestra en la figura 7.

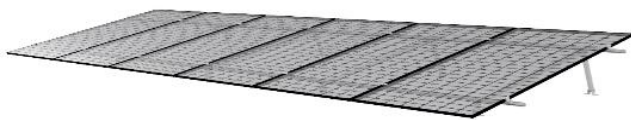


Figura 7. Montaje de seis paneles fotovoltaico

Nota: Estructura metálica para el soporte de seis paneles fotovoltaicos. Obtenido de: <https://solida.com.mx/sbv1.html>

PROTECCIONES DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED

La mejor forma de proteger toda nuestra instalación eléctrica es mediante un centro de cargas la cual nos permite proteger el circuito contra sobre cargas, corto circuito y fallas de tierra. Para

determinar la capacidad de nuestro interruptor es importante determinarlo utilizando la ecuación 20, tenemos:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{5,998.2 \text{ W}}{120 \text{ V}} = 49.985 \text{ A} \quad (20)$$

Nuestro interruptor tiene que ser de 60 A, de acuerdo a la sección 240-6 de la NOM-001-sede-2012.

CÁLCULO DEL CABLEADO

Para determinar el calibre del cable a utilizar, mediante la I_{sc} de nuestro panel fotovoltaicos, tenemos que basarnos en la NOM-001-sede-2012, sección 210-19(a) (1), y en la ecuación 21.

$$I_{ajustada} = 125\% I_{ajustada} = 1.25 * (13.40 \text{ A}) = 16.75 \text{ A} \quad (21)$$

Una vez obtenido la $I_{ajustada}$, procedemos a calcular el valor de corriente ajustada, con base la sección 210-19(a) (1) de la NOM-001-sede-2012, ecuación 22.

$$I_{ajus \text{ total}} = \frac{1.25 * (I_n)}{F.C.T * F.A.A} = \frac{16.75 \text{ A}}{1 * 1} = 16.75 \text{ A} \quad (22)$$

En base, a la NOM-001-sede-2012, sección 310-15(b) (16), se propone el conductor: 14 AWG – THHW-LS, por lo tanto, según por su ampacidad el conductor de cobre en la terminal es de 60 °C 15 A, tomamos en cuenta lo anterior encontramos que el conductor es de 12 AWG – THHW-LS, en base la sección 110-14(c) (1).

SELECCIÓN DEL CONDUCTOR DE PUESTA A TIERRA

Para el cálculo del conductor de puesta a tierra, la nom-001-sede-2012, sección 250-122, tomando los datos del conductor propuesto anteriormente, calculamos el factor por incremento, de acuerdo con la ecuación 23.

$$fi = \left(\frac{12 \text{ AWG}}{14 \text{ AWG}} \right) = \frac{3.31 \text{ mm}^2}{2.088 \text{ mm}^2} = 1.5913 \quad (23)$$

Por lo cual tenemos, que el factor por incremento es según la ecuación 3.24.

$$fi = 1.5913 * 2.08 \text{ mm}^2 = 3.31 \text{ mm}^2 \quad (24)$$

Por lo tanto, según la tabla de la nom-001-sede-2012, sección 250-122 (b), nos dice que el conductor seleccionado es de 3.31 mm² a 12 AWG

CONEXIÓN ENTRE PANELES

Las conexiones entre (Serie y Paralelo) se realizan mediante cables suministrados con los propios paneles fotovoltaicos. Cuando se conecta en paralelo, todos los polos positivos están conectados entre sí en la parte superior (polo positivo), y todos los polos negativos están conectados entre sí en la parte inferior, como se puede ver en la figura 8.

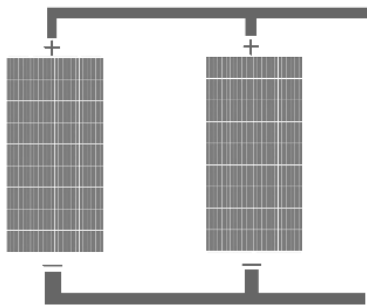


Figura 8. Conexión de paneles fotovoltaicos en serie

Para la conexión en serie, el polo positivo se conecta con el polo negativo, la parte superior del panel fotovoltaico, con la parte inferior del mismo, como se muestra en la siguiente figura 9.

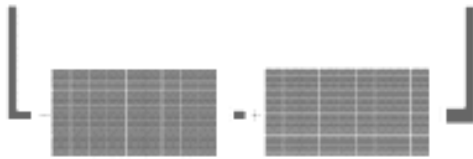


Figura 9. Conexión de paneles fotovoltaicos en paralelo
Nota: Elaboración propia. Photoshop® 2022. Diciembre 2022

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se determinaron las cargas que demanda el sistema eléctrico, esta fue de 27684 Wh/d en total, se requiere un número de 12 paneles fotovoltaicos para abastecer la carga demandada, así mismo, se calculó la orientación e inclinación de los mismos, se seleccionó un panel de 500W y se configuro la distribución de los mismos en la azotea de la escuela considerada, el arreglo definido para la conexión entre los paneles es en serie paralelo, dos grupos de seis paneles en serie y ambos conectados en paralelo. Se calculó un inversor de 6500W y el cable de conexión de calibre 14 AWG, para la conexión a tierra se encontró que el conductor es de calibre 12 AWG.

CONCLUSIONES

Se logró el diseño y cálculo del sistema fotovoltaico para abastecer de energía eléctrica a la escuela primaria Cuauhtémoc en Guerrero. El arreglo considerado es eficiente y se acopla muy bien en el espacio considerado sobre la azotea de la escuela primaria.

Todos los materiales y accesorios definidos son comerciales y se consiguen en el mercado mexicano. Con este proyecto, una vez realizado se aportara un gran beneficio a la escuela primaria en cuanto a calidad y eficiencia de energía eléctrica.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- Acciona Bussines as Unusual (2023). Energías Renovables. En línea, obtenido de: https://www.acciona.com/es/proyectos/?_adin=02021864894
- Alcor, E. (2002). Instalaciones Solares Fotovoltaicas. Sevilla: PROGENSA
- Alvarado, RAV, (2015), Componentes principales de un sistema fotovoltaico interconectado a la red. Manual para la evaluación técnica-económica de "Sistemas Fotovoltaicos Interconectados a la Red apoyados a través del Programa de Fideicomiso de Riesgo Compartido" En línea, obtenido de: https://energypedia.info/images/6/67/GIZ_Manual_SF_Interconectados_Red_2015.pdf
- Banco Bilbao Vizcaya Argentina (BBVA, 2022). ¿Qué tipos de energías renovables existen y qué papel juegan? En línea, obtenido de: <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-tipos-de-energias-renovables-existen-y-que-papel-juegan/>
- Banco Bilbao Vizcaya Argentina (BBVA, 2022). ¿Qué tipos de energía solar existe? En línea, obtenido de: <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-la-energia-solar/>
- Carmona G. y Díaz T. (2018). Instalaciones Solares Fotovoltaicas. España: McGraw-Hill.
- Casa, M. y Barrio, M. (2017). Instalaciones Solares Fotovoltaicas. México: Alfaomega Grupo Editor.
- Enel Green Power. (2022, 11, 02). Módulo Fotovoltaico. Del sitio web <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-solar/modulo-fotovoltaico>
- Gil, G. (2008). Energías del Siglo XXI. De las Energías Fósiles a las Alternativas. Madrid: Mundi-Prensa
- Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012. Instalaciones Eléctricas, NOM-001-sede-2012, Anexo D. Sección 240-6 de la nom-001-sede-2012, Anexo E. Sección 210-19 de la nom-001-sede-2012, Anexo E. Sección 210-19 de la nom-001-sede-2012, Anexo F. Tabla 310-15(b)(16) de la nom-001-sede-2012. Anexo G. Tabla 250-122 de la nom-001-sede-2012, Anexo H. Tabla 8 de la nom-001-sede-2012.
- Madrid, A. (2009). Energías Renovables. España: AMV Ediciones y Mundi-Prensa
- Méndez Muñoz, J. M. y Cuervo García, R. (2006). Energía Solar Térmica. Fundación Confemetal. Recuperado en junio de 2022

INFORMACIÓN ACADÉMICA

María de Jesús Velázquez Vázquez: Licenciada en Economía por la Escuela Superior de Economía del Instituto Politécnico Nacional, Maestría en ciencias en educación y especialista en finanzas, Candidata a Doctor en Ciencias en Ingeniería de Sistemas por la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la



ESIME Zacatenco, profesora investigadora de tiempo completo y exclusivo en el IPN.

Juan Daniel Rivas Martínez: Ingeniero Mecánico egresado de la Escuela superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional, Experto en Manufactura, profesor de tiempo completo en el IPN.

Martín Dario Castillo Sánchez: Ingeniero Mecánico egresado de la Escuela superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional, Maestría en Ingeniería Mecánica en diseño mecánico, por la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la ESIME Zacatenco, Doctorado en ciencias en ingeniería mecánica por la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la ESIME Zacatenco, profesor investigador de tiempo completo y exclusivo en el IPN.





Análisis y estudio de la combustión completa e incompleta en un motor de combustión interna utilizando diferentes cantidades de biogás

A. E. Pérez Ramos¹, G. Polupan¹, E. Zamora²

RESUMEN

Los motores exclusivos de uso de biogás tienen un alto costo económico y poca disponibilidad para bajas potencias, lo que hace difícil el aprovechamiento de dicho combustible sin la presencia del combustible diésel o gasolina trabajando en modo dual para permanecer la potencia del motor. Una de las principales ventajas de utilizar biogás como combustible es la reducción de emisiones contaminantes.

Este estudio se realizó considerando diferentes cantidades de biogás para conocer los principales contaminantes que se emiten de acuerdo a las cantidades de biogás que se ingresan al motor. Los resultados obtenidos demuestran que al aumento de metano favorece el comportamiento del motor, por el contrario al aumentar metano y reducir CO_2 aumentan las concentraciones de contaminantes como el CO , SO_2 . Es importante mencionar que el motor de combustión interna no va a hacer combustión, si los niveles de metano se reducen un 80%.

ABSTRACT

The exclusive engines for the use of biogas have a high economic cost and little availability for low powers, which makes it difficult to take advantage of said fuel without the presence of diesel or gasoline fuel working in dual mode to maintain engine power. One of the main advantages of using biogas as fuel is the reduction of polluting emissions.

This study was carried out considering different amounts of biogas to know the main pollutants that are emitted according to the amounts of biogas that are entered into the engine. The results obtained show that the increase in methane favors the behavior of the engine, on the contrary, by increasing methane and reducing CO_2 increase concentrations of pollutants such as CO , SO_2 .

It is important to mention that the internal combustion engine will not combust if the methane level reduces by 80%.

PALABRAS CLAVE:: Biogás, emisiones contaminantes, CO_2 , CO , SO_2 , combustión interna, metano, coeficiente de exceso de aire

INTRODUCCIÓN

Los motores actuales de combustión interna que trabajan con diésel y gasolina, son adaptados con elementos variados los cuales van a permitir que dicho motor trabaje con biogás como combustible, el resultado no es el mejor debido a que el motor no está diseñado para trabajar con ese combustible aunque la tecnología se está aplicando, la configuración de parámetros del motor no está bien definida, teniendo en cuenta que los MCI son diseñados a condiciones de operación muy diferentes a las que se someten realmente, como es el caso de motores estacionarios, para los cuales su operación en relación con sus condiciones geográficas y climáticas, influyen en su desempeño, el cual afecta directamente su eficiencia.

El alto contenido de dióxido de carbono en la composición del biogás conlleva a que tenga altas temperaturas de autoignición reduciendo la posibilidad de que se presente el fenómeno de knocking o combustión anormal, esto es una ventaja al ser usado en motores de combustión interna que funcionan con altas relaciones de compresión, sin embargo el alto porcentaje de gases inertes en la composición del biogás lo hace poco atractivo por sus características de combustión, y por esto se hacen adiciones en pequeñas cantidades de hidrógeno que son bastante atractivas, debido a que incrementan los rangos de inflamabilidad y aumenta la velocidad de deflagración de la llama dentro de los cilindros, sin afectar significativamente propiedades como la resistencia a la autoignición[1].

En el presente trabajo se pretende evaluar el comportamiento mecánico y ambiental de un motor de combustión interna para ser usado con combustibles 100% gaseosos, tanto de origen fósil como de origen renovable, con diferentes mezclas de cada uno de estos, con el fin de aprovechar la alta relación de compresión y aumentar la eficiencia para los combustibles estudiados, reportando valores de presión en cámara, eficiencia efectivas e indicadas y emisiones contaminantes, estableciendo puntos de comparación del uso de biogás y diferentes porcentajes de adición de metano (CH_4) e hidrógeno (H_2) al biogás

ESTADO DEL ARTE

E. Porpatham y otros [1] trabajaron aproximadamente a 6 msnm equivalentes a 1.014 bar de presión atmosférica en un motor convertido a modo encendido provocado, usando biogás con mezclas de hidrógeno hasta un 15% de porcentaje en volumen, motor cuatro tiempos monocilíndrico de 661.5 cm³ refrigerado por

3, Instituto Politécnico Nacional, CIC. Av. Juan de Dios Batiz S/N, Col. Nueva industrial Vallejo, Gustavo A. Madero, 07738, México.
email:ezamora81@gmail.com

* 1 Instituto Politécnico Nacional – ESIME Zac, México City, 07738, México, email: Aperezr2106@ipn.mx
2, Instituto Politécnico Nacional – ESIME Zac, México City, 07738, México. email:gpolupan85@yahoo.com.mx





aire y con una relación de compresión de 13:1, con una potencia de 4.4 kW a 1500 rpm. En sus resultados argumentan que la adición de hidrógeno al biogás permite trabajar con mezclas más pobres debido a la inflamabilidad del hidrógeno, usando solo biogás era posible trabajar con un dosado relativo mínimo de 0.66, mientras que con adiciones de 5%, 10%, y 15% de hidrógeno en volumen, el límite disminuyó hasta 0.63, 0.56 y 0.51, respectivamente. En mezclas pobres, la adición del 15% de hidrógeno parece ser la más conveniente, pues en porcentajes más altos se presenta el fenómeno de knock intenso a medida que la mezcla se vuelve más rica, cabe decir que para dosados ricos hay una leve caída en la potencia de salida y en la eficiencia al freno, debido al tiempo de retraso del salto de la chispa que debe hacerse para prevenir el fenómeno de knock, esto principalmente para las mezclas con 15% de contenido de hidrógeno, sin embargo la eficiencia al freno siempre tuvo aumentos cuando se usaron porcentajes de hidrógeno hasta un 10%. En regiones donde el knock no ocurre, la adición de hidrógeno, que conlleva a velocidad de llama más rápidas resulta en una mejor eficiencia, la máxima eficiencia con una adición del 15% de hidrógeno es de 24.7% con un dosado de 0.73, mientras que con este mismo dosado para el biogás fue del 22%, por otra parte, la máxima eficiencia para una adición del 10% de hidrógeno fue de 26.4% con un dosado del 0.97, mientras que para el biogás con este mismo dosado fue de 25.2%. Con respecto a las emisiones, argumentan que a medida que se incrementa la cantidad de hidrógeno disminuyen los hidrocarburos sin quemar para todos los dosados relativos, con una adición de 15% de hidrógeno y un dosado de 0.67 se generan 2120 ppm contra 6370 ppm trabajando solo con biogás, por otro lado, para una adición del 10% de hidrógeno y un dosado de 0.95 las emisiones son de 660 ppm contra 1530 ppm trabajando solo con biogás, respecto a las emisiones de NOX, la adición de hidrógeno no resulta en un significativo aumento en niveles de emisión. A medida que aumenta la proporción de hidrógeno, las emisiones de CO2 disminuyen debido a la disminución de este compuesto y de hidrocarburos a la entrada del cilindro. Respecto a las curvas de presión encontraron que los picos máximos disminuyen a medida que incrementa el porcentaje de hidrógeno en la mezcla, argumentan que es debido al retardo en el tiempo de ignición. En conclusión, los autores recomiendan que la adición del 10% de hidrógeno parece ser la más deseable para aumentar el rendimiento y reducir las emisiones contaminantes, y que un buen control en el tiempo de ignición podría llevar a mejoras en el rendimiento con altos niveles de hidrógeno.

RESULTADOS:

Los resultados obtenidos, fueron estudios teóricos considerando diferentes coeficientes de exceso de aire y diferentes cantidades de biogás, en combustión completa y combustión incompleta.

TABLAS:

El análisis teórico se realizó con combustión completa e incompleta, utilizando diferentes cantidades de metano y CO2, las diferentes cantidades de biogás en el motor nos arroja los diferentes resultados con diferentes cantidades de exceso de aire.

Resultados con gas natural

Volumen	$\alpha=1.01$	$\alpha=1.03$	$\alpha=1.05$	$\alpha=1.10$	$\alpha=1.15$
H2o	0.0775	0.231	0.386	0.772	1.158
CO2	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
SO2	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
N2	3.1352	3.213	3.292	3.488	3.684
O2	0.00823	0.0246	0.0246	0.0823	0.1234

Resultados con biogás

Resultados con Metano

Volumen	$\alpha=1.01$	$\alpha=1.03$	$\alpha=1.05$	$\alpha=1.10$	$\alpha=1.15$
H2o	0.00233	0.00701	0.0116	0.02337	0.035
CO2	3.0884	3.0884	3.0884	3.0884	3.0884
SO2	0	0	0	0	0
N2	3.8076	3.69	3.99	4.236	4.474
O2	0.0099	0.0299	0.0499	0.0999	0.1499

Tabla 1.1- Resultados de productos de combustión en diferentes coeficientes de exceso de aire.

Resultados con Biogás 70%CH4-30 CO2

Volumen	$\alpha=1.01$	$\alpha=1.03$	$\alpha=1.05$	$\alpha=1.10$	$\alpha=1.15$
H2o	0.122	0.322	0.53	1.074	1.612
CO2	2.461	2.461	2.461	2.461	2.461
SO2	0	0	0	0	0
N2	2.663	2.730	2.797	2.964	3.131
O2	0.00701	0.021	0.035	0.070	0.1052

Resultados con Biogás 50-50

Volumen	$\alpha=1.01$	$\alpha=1.03$	$\alpha=1.05$	$\alpha=1.10$	$\alpha=1.15$
H2o	0.457	0.679	0.784	1.987	2.076
CO2	1.84	1.84	1.84	1.84	1.84
SO2	0	0	0	0	0
N2	1.678	1.897	1.997	2.023	2.178
O2	0.0101	0.034	0.067	0.088	0.247

Tabla 1.3, resultados de biogás 50% CH4,30%CO2 de los productos de combustión, con los diferentes coeficientes de exceso de aire.



Resultados con Biogás 60-40

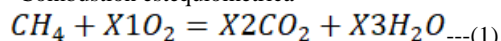
Volumen	$\alpha=1.01$	$\alpha=1.03$	$\alpha=1.05$	$\alpha=1.10$	$\alpha=1.15$
H ₂ O	0.122	0.322	0.53	1.074	1.612
CO ₂	2.148	2.148	2.148	2.148	2.148
SO ₂	0	0	0	0	0
N ₂	2.03	2.123	2.367	2.537	2.738
O ₂	0.055	0.067	0.083	0.096	0.1678

Tabla 1.4, resultados de biogás 60% CH₄,40% CO₂ de los productos de combustión, con los diferentes coeficientes de exceso de aire.

ECUACIONES Y FÓRMULAS

METANO

-Combustión estequiométrica

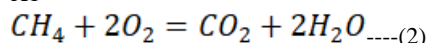


C 1=X2

H 4=X3*2; X3=2

X1*2 0 X2*2 +X3*1

$$X1 = \frac{1.2+2}{2} = 2 \frac{1.2+2}{2} = 2$$



Combustión Incompleta

$$\alpha = 0.95$$

-Condición Adicional

$$\frac{mCO}{mH_2} = 2; \quad \frac{y_3 * 28}{y_4 * 2} = 2; \quad Y_3 = \frac{2 * 16 * Y_4}{28} \dots(3)$$

$$C \quad 1 = Y_1 + Y_3 + Y_4 \quad Y_1 + Y_3 + Y_4 \dots(4)$$

$$H \quad 4 = Y_2 * 2 + Y_4 * 4 \quad Y_2 * 2 + Y_4 * 4 \dots(5)$$

$$O \quad 1.9 * 2 = Y_1 * 2 + Y_2 * 1 + Y_3 Y_1 * 2 + Y_2 * 1 + Y_3 \dots(6)$$

$$Y_3 = 1.14 * Y_4 \quad Y_3 = 1.14 * Y_4 \dots(7)$$

3.-Resolviendo el sistema de ecuaciones:

$$Y_2 = 1$$

$$Y_3 = 0.57$$

$$Y_4 = 0.5$$

$$Y_1 = .07$$

4.-Efecto térmico de la combustión incompleta

$$PCI = 1.3188CO + 1.8924CO_2 + 1.5198H_2O + 1.3021H_2$$

$$ET = 6.03 * 0.71 \text{ kg/m}^3$$

$$ET = 4.2813 \text{ kg/m}^3$$

NOMENCLATURA

Temperaturas

Y1,Y2,Y3,Y4 = variable de efecto térmico .

ET= Efecto Térmico.

PCI=Poder Calorífico Inferior.

H= Entalpía.

X1,X2,X3= Variables Estequiometrias .

CONCLUSIONES:

En este trabajo realizamos un estudio analítico , donde representamos diferentes cantidades de combustible gaseoso , demostrando que al usar mayor cantidad de metano y reduciendo el CO₂, las emisiones contaminantes reducen significativamente , es importante resaltar también que al reducir metano en la mezcla que simula Biogás , el proceso de combustión no se realiza , porque para hacer combustión en un motor se necesita como mínimo un 70% de metano y 30% de Co₂.

El uso de biogás como combustible resulta muy factible ya que reduce las emisiones contaminantes , la desventaja es que el motor pierde su potencia con carga , teniendo una menor eficiencia.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

[1].- Corredor L, Bermejo F. “*Conversión de los motores Diesel a Gas Natural utilizados en el transporte público de la ciudad de Barranquilla*”. Revista Gas Natural Vehicular No 31. Abril de 2008, pp 48-52.

[2].- Córdoba J, Cardona R. “*Caracterización y Diseño de Mezcladores para Motores de Combustión Interna Convertidos a Gas Natural*”. Proyecto de grado para optar el título de Ingeniero Mecánico. Universidad de Antioquia.2002.

[3].-Crookes R., Comparative bio-fuel performance in internal combustion engines., Biomass and Bioenergy, Vol. 30, 2006, pp. 461-468.

[4].-F.E.Sierra, *Tecnologías para el Aprovechamiento de los Biocombustibles*, Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2008.

[5].-Obert,E., Motores de Combustión Interna: Análisis y aplicaciones., Compañía editorial Continental, México,

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Andrea Elizabeth Pérez Ramos: Ingeniería Mecánica ,egresada del Instituto Politécnico Nacional Esime Azcapotzalco, Maestría en Ingeniería Industrial ,Especialidad Optimización de procesos, egresada del Instituto Tecnológico del Oriente del Estado de México, estudiante del quinto semestre de doctorado en ciencias de la ingeniería mecánica en el Instituto Politécnico Nacional Esime, Zacatenco .





Erik Zamora es profesor titular del Instituto Politécnico Nacional (IPN). Recibió el grado de licenciatura en electrónica de la UV (2004), el grado de maestría en ciencias en ingeniería eléctrica (2007) y el grado de doctor en ciencias en control automático (2015), ambos del CINVESTAV-IPN. Desarrolló el primer sistema mioeléctrico comercial mexicano para una prótesis y un sistema de navegación robótica en la Universidad de Bristol. Sus intereses actuales incluyen robots autónomos y aprendizaje automático.





Tecnologías recientes sobre sistemas de refrigeración utilizados para la conservación de alimentos empleando el efecto Peltier como método alternativo a los sistemas por compresión

Omar Olvera García, Omar Armando Cornejo Becerra, Víctor Hugo Hernández Gómez*

RESUMEN

En la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán se imparten diversas Ingenierías, como ingeniería en Alimentos, Ingeniería Química e Ingeniería Mecánica Eléctrica, en estas licenciaturas se enseñan métodos y tecnologías convencionales existentes en diversas operaciones unitarias y se enseñan nuevas tecnologías que pueden reemplazar las ya existentes. Una de las operaciones unitarias que es altamente utilizada por su importancia en la preservación de alimentos, enfriamiento en procesos y acondicionamiento del ambiente es el proceso de refrigeración. Actualmente la tecnología más desarrollada son los sistemas por compresión de gas.

Se realiza una búsqueda de antecedentes y análisis de los mismos para comprobar la factibilidad para proponer el diseño de un prototipo de refrigerador que utilice celdas Peltier para la conservación de alimentos.

Se concluye que el avance tecnológico de los materiales de construcción de las celdas termoeléctricas, así como el apoyo brindado en la generación de tecnologías limpias en los últimos 20 años pueden ser factores favorables para desarrollar un prototipo de un sistema de refrigeración que sea utilizado para la conservación de alimentos empleando el efecto Peltier.

ABSTRACT

In the Faculty of Higher Studies Cuautitlán various Engineering are taught, such as Food Engineering, Chemical Engineering and Electrical Mechanical Engineering, conventional methods and technologies existing in various unit operations are taught and new technologies that can replace existing ones are taught. One of the unit operations that is highly used for its importance in food preservation, process cooling and environmental conditioning is the refrigeration process. Currently the most developed technology is gas compression systems.

A background search and analysis of them is carried out to verify the feasibility of proposing the design of a refrigerator prototype that uses Peltier cells for food preservation.

It is concluded that the technological progress of the construction materials of thermoelectric cells, as well as the support provided in the generation of clean technologies in the last 20 years may be

favorable factors to develop a prototype of a refrigeration system that is used for food preservation using the Peltier effect.

Palabras claves: Refrigeración Peltier, Refrigeración convencional, Antecedentes.

INTRODUCCIÓN

La refrigeración es uno de los procesos más utilizados para conservar los alimentos ya que se utiliza para mantenerlos en buen estado puesto que se retrasa el crecimiento de enzimas y microorganismo que provocan su degradación.

La tecnología más utilizada en refrigeración es el sistema de refrigeración por compresión de vapor, el cual requiere gases refrigerantes, que al ser liberados han afectado la capa de ozono, tales como los Clorofluorocarburos (CFC), los Hidroclorofluorocarburos (HCFC) o los Hidrofluorocarburos (HFC). Aunque se ha prohibido el uso de algunos de estos gases, se han buscado refrigerantes alternativos que tengan un menor impacto en la generación de gases de efecto invernadero y un daño mínimo a la capa de ozono, para seguir usando este tipo de tecnología ya que es que tiene el mayor índice COP (Coefficient of Performance).

Sin embargo, existen otras alternativas como son los sistemas de refrigeración por absorción y los sistemas de refrigeración termoeléctricos.

La idea de crear sistemas de refrigeración utilizando la termoelectricidad tiene más de 100 años, aunque ha sido posible desde la creación de los semiconductores en la década de 1950. Los elementos termoeléctricos son dispositivos de estado sólido, pequeños y ligeros que pueden ser utilizados en diversos campos para absorber el calor. Los materiales usualmente utilizados en la fabricación de las celdas Peltier son Bismuto, Teluro, Antimonio, Cesio, Germanio y Selenio. Actualmente las celdas termoeléctricas soportan diferenciales de temperatura superiores a 80 °C y pueden llegar a tener una vida media superior a las 200,000 horas, siempre y cuando se mantenga por debajo de la temperatura máxima de trabajo, por lo cual requiere un sistema de extracción de calor del lado caliente de la celda.

Un sistema de refrigeración termoeléctrico tiene la ventaja de no utilizar gases refrigerantes que pueden dañar la capa de ozono, a diferencia de los sistemas de compresión convencionales. pueden ser utilizados en el transporte de alimentos y bebidas, así como lugares donde las condiciones de alimentación de energía eléctrica sean adversas.

* Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México, Laboratorio de Investigación en Energías Renovables, omarog@comunidad.unam.mx.





ANTECEDENTES

Se realizó la búsqueda de los antecedentes que tuvieran que resultados sobre celdas Peltier, tecnología termoeléctrica en refrigeración, comparación entre sistemas de refrigeración convencionales y sistemas de refrigeración usando tecnologías alternativas.

Hara et al. (1998) realizan 3 prototipos diferentes de gorras refrigerantes con celdas termoeléctricas, en donde encuentran un modelo óptimo que se caracteriza por ser ligero y llevar a una temperatura de confort de entre 4 y 5 °C por debajo de la temperatura ambiental. Este prototipo es alimentado por celdas fotovoltaicas, lo cual demuestra la factibilidad de alimentar las celdas termoeléctricas a través de paneles fotovoltaicos sin la necesidad de un inversor y respaldando la idea de ser un sistema de fácil transporte.

Bansal & Martin, (2000) realizaron un estudio comparativo entre un sistema de refrigeración por compresión convencional, un sistema de refrigeración por absorción y un sistema de refrigeración termoeléctrico, encontraron que el sistema termoeléctrico era el menos costoso, el menos ruidoso y el menos eficiente de los tres sistemas. Sin embargo, hay que hacer la acotación de que las celdas termoeléctricas que utilizaba este último sistema era tecnología con más de 20 años de antigüedad y actualmente la tecnología con la que se fabrican las celdas termoeléctricas ha avanzado considerablemente debido al incremento de la calidad de los semiconductores con las que son fabricadas (Científicos poblanos crean celdas termoeléctricas al vacío, 2013).

Riffat y Ma (2003) realizan una revisión de diversas tecnologías fabricadas con celdas termoeléctricas, destacan un incremento de diversas patentes de equipos de refrigeración termoeléctricos registradas, esto debido al incremento en el interés para generar sistemas alternativos de refrigeración que tengan un menor impacto en la generación de gases de efecto invernadero, o gases que afecten la capa de ozono. Hacen mención en el bajo COP que tienen estos equipos, sin embargo, es notorio el esfuerzo por incrementarlo tanto en las tecnologías de las celdas como en la tecnología de los diseños y materiales con los que se han construido.

Dai et al. (2003a) realizan un análisis en un prototipo de un refrigerador termoeléctrico portátil que puede ser alimentado con celdas fotovoltaicas o conectado a corriente eléctrica casera. Encuentran que el valor de COP decrece de 0.30 a 0.14 conforme se incrementa la temperatura ambiental, sin embargo, la temperatura del espacio refrigerado se mantiene entre 5 y 10 °C (2003b).

En análisis posteriores, Riffat y Qiu (2004) comprueban que entre más grande es un sistema de enfriamiento termoeléctrico menos competitivo es contra un sistema de enfriamiento convencional por compresión o un sistema de enfriamiento por absorción.

En una revisión bibliográfica realizada por Xi et al. (2007) concluye que la tecnología termoeléctrica ha dado pasos agigantados desde la década de los 70, sin embargo, el bajo COP que tiene hace que los equipos sean sumamente costosos para grandes aplicaciones.

Tan & Fok (2008) presentan una herramienta de internet para encontrar la celda Peltier apropiada de acuerdo a las condiciones de diseño realizadas, con amplia base de datos de los productores de celdas termoeléctricas.

En una investigación realizada al instalar un disipador con ventilador para computadora a una celda Peltier, Liu et al., (2015) encontraron que la disminución de temperatura en el lado frío de la celda termoeléctrica depende directamente de la extracción de calor en el lado caliente la misma, aumentando el COP de los equipos que funcionan con celdas termoeléctricas.

Después de una búsqueda actualizada en la literatura, Bezinger et al. (2015) concluyen que, para ser más prácticos y competitivos, los materiales con los que son construidos los sistemas termoeléctricos deben seguir siendo investigados hasta alcanzar un nivel de eficiencia en la conversión entre la energía eléctrica y la energía térmica comparable con la existente en los sistemas convencionales de compresión de vapor.

Se realizó un experimento con un refrigerador tipo gabinete, al cual se le adicionó un sistema de refrigeración termoeléctrico (Bajaj et al., 2016), donde se utilizó una celda Peltier TEC12706, con una potencia de 60 watts. Con el módulo instalado como sistema de apoyo se obtuvo una mayor eficiencia del sistema de refrigeración por compresión convencional.

Vaidya et al. (2017) construyeron el prototipo de un refrigerador termoeléctrico para almacenamiento de alimentos y medicinas con una capacidad de 5 L (25 cm³). Utilizaron 2 celdas termoeléctricas para alcanzar el efecto de enfriamiento requerido, consiguieron disminuir la temperatura de 2 Kg de agua en 20 °C, en un lapso de 450 minutos y tuvieron un rendimiento COP de 0.16.

Mardini-Bovea et al. (2019) realizaron una búsqueda de información sobre investigaciones relacionadas con celdas Peltier, en la que destaca un incremento de generación de información en poco más de 5 veces, comparándola con el año 2000. En este mismo estudio encontraron que, a partir del año 2000, las investigaciones sobre la generación de celdas Peltier con nuevos materiales ha provocado un gran incremento en la eficiencia de la energía térmica que generan. Concluyen que, a pesar de que las celdas termoeléctricas no se encuentran al mismo nivel de rendimiento termodinámico con respecto a otros sistemas de refrigeración, se puede mejorar el rendimiento actual de estos sistemas con el desarrollo de nuevas tecnologías, la creciente investigación en el desarrollo de materiales para la construcción de los semiconductores con los que se fabrican las celdas termoeléctricas y con el incremento de políticas que apoyan las energías limpias pueden ser una gran opción en el área de la refrigeración

Recientemente Afshari et al. (2022) realizaron un prototipo para evaluar el efecto de la velocidad del aire en la extracción de calor de la celda Peltier y el grosor óptimo en el aislante entre el lado caliente y el lado frío de la celda. Como resultados, obtuvieron un grosor de aislante mínimo, de 1.5 mm y una velocidad de extracción de 30 m/s.

De acuerdo con la Comisión Federal de Electricidad (s.f.) el refrigerador, un sistema convencional por compresión, realiza un 30% del consumo energético de la energía eléctrica consumida en



un hogar y propone el uso responsable de los electrodomésticos de alto consumo, así como el incremento de uso de energías

ANÁLISIS DE ANTECEDENTES

Con base en los antecedentes anteriores se puede concluir que es necesario continuar con la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías que utilicen tecnologías limpias, como es el caso de las celdas termoeléctricas. Por lo que se propone realizar un prototipo experimental que tenga como base didáctica la enseñanza experimental de tecnologías alternativas para la conservación de alimentos.

A continuación, se presenta el marco teórico sugerido para realizar un prototipo experimental de un sistema de refrigeración que sea utilizado para la conservación de alimentos empleando celdas termoeléctricas. Este sistema debe de tomar en cuenta diversos parámetros de diseño, como la factibilidad de mejorar la tecnología termoeléctrica con la que se construya.

MARCO TEORICO

CONCEPTOS GENERALES

Refrigeración

La refrigeración tiene como objetivo transferir el calor desde un espacio hacia un ambiente con temperatura superior. El calor viaja en forma natural desde un medio cálido a uno frío (Whitman, et al., 2000). En alimentos, la refrigeración consiste en la conservación de los productos a bajas temperaturas, pero por encima de su temperatura de congelación. Entre las principales tecnologías utilizadas para la refrigeración se encuentra, el sistema de refrigeración por compresión de vapor, el sistema de refrigeración por absorción y, en menor medida, la refrigeración termoeléctrica, que utiliza celdas Peltier.

Efecto Seebeck

Fue descubierto en 1821 por el científico alemán Thomas Seebeck mientras realizaba experimentos con una lámina de cobre y otra de bismuto. Se dio cuenta que al unir los materiales en un circuito cerrado y calentar uno de estos se produciría una diferencia de tensión entre ambos ocasionando un flujo de corriente de un extremo a otro y a su vez un cambio de temperatura entre las superficies de estos. Este efecto es inverso al Peltier. (Catalán Solsona, 2014)

Efecto Peltier

Fue descubierto por el físico francés Jean Charles Peltier en 1834 cuando realizaba sus investigaciones sobre la electricidad, dicha investigación consistió en pasar corriente por un circuito compuesto de diferentes materiales cuyas uniones se encontraban a la misma temperatura ocasionando que se absorbiera calor de una unión y se desprendiera de otra.

Este fenómeno es reversible pues la absorción de calor depende de manera directa con la dirección de la corriente y el flujo de electrones tal que, si se invierte la polaridad se ocasiona que la cara que antes absorbía calor lo expulsa y viceversa siendo este inverso al Seebeck. (Lizárraga, 2001)

Efecto Thompson

Fue descubierto en 1851 por William Thompson quien fue un físico y matemático británico. En sus investigaciones determinó que, ambos efectos, tanto Seebeck como Peltier se encontraban correlacionados dando paso al descubrimiento de un nuevo efecto llamado Thompson en su honor.

Este consiste en la liberación o absorción de calor a través de un conductor homogéneo, pero a diferencia de los otros métodos este se lo puede realizar mediante la implementación de un solo material dependiendo únicamente de la dirección de la corriente y por consiguiente el gradiente de temperatura.

Efecto Joule

Fue descubierto por James Prescott Joule en el año de 1852, este método es el más conocido y fácil de identificar pues ocurre cuando una corriente circula a lo largo del conductor generando así que este cambie su temperatura. Es decir, el desprendimiento de calor provocado por el movimiento de electrones. (Rivera, 2015)

Conducción

La conducción es un modo de transferencia de energía de partículas más energéticas de una sustancia hacia otras con menos energía debido a la interacción entre las mismas. En la conducción, la rapidez de transferencia de calor a través de un medio depende de tres factores: la geometría, su espesor y el material del que está hecho (Cengel & Ghajar, 2011).

Convección

La convección es uno de los modos de transferencia de calor en donde se ven involucrados una superficie sólida y un líquido adyacente en movimiento. Este tipo de transmisión se debe a una combinación entre los efectos de conducción y el movimiento de un fluido, mientras más velocidad adquiera el fluido, mayor será la transferencia de calor mediante convección. Si no existiera movimiento por parte del gas o fluido, solo existiría conducción entre la superficie sólida y el gas (Cengel & Ghajar, 2011).

Existen dos tipos de convección que son natural y forzada, en la primera, el movimiento del fluido se debe a fuerzas de empuje causadas por una diferencia de densidades debido al cambio de temperatura en el fluido; en convección forzada, el fluido es obligado a subir mediante equipos externos tales como ventiladores o bombas.

Radiación

La radiación es la energía que emite un objeto mediante ondas electromagnéticas debido a un cambio de las configuraciones electrónicas en los átomos y moléculas. Debido a que estas partículas son aptas para propagarse en el vacío, la radiación no necesita un medio para trasladarse, siendo así el modo de transferencia de calor más rápido. Cualquier material, ya sea sólido, líquido o gas pueden emitir y absorber radiación debido a que es un fenómeno volumétrico, aunque, en el caso de los sólidos que son opacos a la radiación térmica dicho fenómeno se vuelve superficial, debido a que la radiación emitida por el interior en este tipo de material nunca llega a la superficie (Cengel & Ghajar, 2011).

Aislante térmico

Un aislante térmico es un material que cumple con la función de disminuir la transmisión de calor entre objetos. Estos materiales se



clasifican en tres tipos que van de acuerdo a la transferencia de calor por conducción, convección y radiación siendo los que más se diseñan aquellos que evitan el traspaso de calor por conducción entre materiales sólidos. El diseño de los aislantes para evitar la transmisión de calor por convección está basado en la limitación del movimiento del aire y para los de radiación se usan barreras del mismo nombre que reflejan el calor emanado (Mosquera & Valencia, 2014).

Conductividad térmica

La conductividad térmica es una propiedad que permite medir la capacidad de un material para conducir calor la cual se define como la razón de transferencia de calor a través de un espesor unitario del material por unidad de área por unidad de diferencia de temperatura (Cengel & Ghajar, 2011).

CONCLUSIONES

Con base en la información obtenida en la búsqueda de antecedentes podemos establecer los parámetros de diseño de un prototipo de sistema de refrigeración utilizando celdas Peltier.

Se propone que el prototipo sea un diseño de tipo modular, es decir, que cada una de las partes que componen el sistema de refrigeración puedan separarse para facilitar el mantenimiento y la limpieza del mismo. Los módulos propuestos para el desarrollo del módulo son los siguientes:

Fuente de alimentación

Es la fuente que se encarga de proporcionar la energía eléctrica que requiere el sistema, debe proporcionar Corriente Directa y debe de ser tener la suficiente potencia para alimentar todas las celdas Peltier y los ventiladores de extracción con los que cuente el sistema, así como el controlador y los accesorios que pueda contener el equipo.

Cámara fría

Es el espacio confinado donde se extrae el calor con ayuda de la Celda Peltier, dedee contener un buen aislamiento en las paredes, para prevenir que el calor se escape por las paredes por efecto de la conducción térmica. Se accede a la cámara a través de una puerta que debe de sellar perfectamente para evitar pérdidas por infiltración. En el interior se coloca el alimento o el producto a enfriar, por lo que debe de estar construido de un material apropiado. Para este prototipo, el resto de los sistemas son acoplados a él, quedando como el eje del refrigerador.

Sistema de enfriamiento

Es el corazón del sistema, puede ser estar compuesto de uno o varios módulos termoeléctricos, los cuales extraen el calor de la cámara fría con ayuda de ventiladores, disipadores, un aislante y en el centro una celda Peltier. Puede estar acoplado directamente a la cámara fría o ser desmontable para facilitar el mantenimiento del Sistema de refrigeración.

Sistema de Control

Es la parte del refrigerador que se encarga de monitorear la temperatura interna en la cámara fría y activar el sistema de enfriamiento cuando se requiera bajar la temperatura en el interior.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- Abdul-Wahab, S. A., Elkamel, A., Al-Damkhi, A. M., Al-Habsi, I. A., Al-Rubai'ey', H. S., Al-Battashi, A. K., Al-Tamimi, A. R., Al-Mamari, K. H. & Chutani, M. U. (2009). Design and experimental investigation of portable solar thermoelectric refrigerator. *Renewable Energy*, 34(1), 30-34. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.04.026>
- Afshari, F., Akif Ceviz, M., Mandev, E. & Yıldız, F. (2022). Effect of heat exchanger base thickness and cooling fan on cooling performance of Air-To-Air thermoelectric refrigerator; experimental and numerical study. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 52, 102178. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102178>
- Bajaj, S. S., Barhatte, S. H. & Bhong, S. U. (2016). Performance Enhancement of Refrigeration System using Peltier Module. *International Journal of Current Engineering and Technology*, Special(4), 33-37. <https://doi.org/10.14741/ijcet/22774106/spl.4.2016.5>
- Bansal, P. K. & Martin, A. (2000). Comparative study of vapour compression, thermoelectric and absorption refrigerators. *International Journal of Energy Research*, 24(2), 0363-907X. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-114X\(200002\)24:2<93::AID-ER563>3.0.CO;2-6](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-114X(200002)24:2<93::AID-ER563>3.0.CO;2-6)
- Bezinger, B., Anunair, P. & Balakrishnan, P. (2015). REVIEW PAPER ON THERMOELECTRIC AIR-CONDITIONER USING PELTIER MODULES. *International Journal of Mechanical Engineering*, 4(3), 49-56.
- Catalán Solsona, J. A. (2014). Materiales termoeléctricos, aplicaciones para la refrigeración y generación de electricidad. (Tesis de grado). Universidad Zaragoza, Zaragoza.
- Cengel, Y., & Ghajar, A. (2011). *Transferencia de calor y masa*. Santa Fe: McGraw Hill.
- Científicos poblanos crean celdas termoeléctricas al vacío. (2013, mayo). *Poblanerías*. <https://www.poblanerías.com/2013/05/cientificos-poblanos-crean-celdas-termoelectricas-al-vacio/>
- COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD. (s. f.). *Aparatos que Consumen Más Energía • Aprende a Ahorrar*. CFE. Recuperado 15 de octubre de 2022, de <https://app-cfe.mx/aparatos-que-consumen-mas-energia/>
- Dai, Y., Wang, R. & Ni, L. (2003a). Experimental investigation and analysis on a thermoelectric refrigerator driven by solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 77(4), 377-391. [https://doi.org/10.1016/s0927-0248\(02\)00357-4](https://doi.org/10.1016/s0927-0248(02)00357-4)
- Dai, Y., Wang, R. & Ni, L. (2003b). Experimental investigation on a thermoelectric refrigerator driven by solar cells. *Renewable Energy*, 28(6), 949-959. [https://doi.org/10.1016/s0960-1481\(02\)00055-1](https://doi.org/10.1016/s0960-1481(02)00055-1)
- Gomar, J. (16 de Octubre de 2018). *Que es la célula Peltier y cómo funciona*. Obtenido de *profesionalreview*: <https://www.profesionalreview.com/2018/10/16/que-celula-peltier/>
- Hara, T., Azuma, H., Shimizu, H., Obora, H. & Sato, S. (1998). Cooling performance of solar cell driven, thermoelectric cooling prototype headgear. *Applied Thermal Engineering*, 18(11), 1159-1169. [https://doi.org/10.1016/s1359-4311\(98\)00046-5](https://doi.org/10.1016/s1359-4311(98)00046-5)



- Liu, D., Zhao, F. Y., Yang, H. X. & Tang, G. F. (2015). Thermoelectric mini cooler coupled with micro thermosiphon for CPU cooling system. *Energy*, 83, 29-36. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.01.098>
- Lizárraga, W. B. (2001). Efecto Peltier. Obtenido de cetronic: <http://descargas.cetronic.es/EstudioPeltier.pdf>
- Mardini-Bovea, J., Torres, G. A., De-la-Hoz-Franco, E., Niño-Moreno, J., Sabau, M. & Pacheco-Torres, P. J. (2019). A review to refrigeration with thermoelectric energy based on the Peltier effect. *DYNA*, 86(208), 9-18. <https://doi.org/10.15446/dyna.v86n208.72589>
- Mosquera, I., & Valencia, J. (2014). Análisis de transferencia de calor de un material para aislamiento térmico de bebidas refrigeradas en envases o en empaques cilíndricos. Santiago de Cali: Universidad Autónoma de Occidente.
- Nagesh, K., Veereshka, R. K. & Muralidhara, R. (2020). A Review on Thermoelectric (Peltier) Module. *International Journal of Progressive Research in Science and Engineering*, 1(4), 212-216. <https://www.journals.grdpublications.com/index.php/ijprse/article/view/134>
- Riffat, S. & Ma, X. (2003). Thermoelectrics: a review of present and potential applications. *Applied Thermal Engineering*, 23(8), 913-935. [https://doi.org/10.1016/s1359-4311\(03\)00012-7](https://doi.org/10.1016/s1359-4311(03)00012-7)
- Riffat, S. & Qiu, G. (2004). Comparative investigation of thermoelectric air-conditioners versus vapour compression and absorption air-conditioners. *Applied Thermal Engineering*, 24(14-15), 1979-1993. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2004.02.010>
- Rivera, N. (24 de Mayo de 2015). Qué es el efecto Joule y por qué se ha convertido en algo trascendental para nuestras vidas. Obtenido de Hipertextual: <https://hipertextual.com/2015/05/efecto-joule>
- Sánchez, C. (29 de enero de 2020). Tablas. Normas APA (7ma edición). <https://normas-apa.org/estructura/tablas/>
- Sánchez, C. (29 de enero de 2020). Figuras. Normas APA (7ma edición). <https://normas-apa.org/estructura/figuras/>
- Tan, F. & Fok, S. (2008). Methodology on sizing and selecting thermoelectric cooler from different TEC manufacturers in cooling system design. *Energy Conversion and Management*, 49(6), 1715-1723. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2007.11.001>
- Thermo Electric Cooler (TEC) Controllers. (2020, 13 febrero). Krona Electronics. <https://kronaelectronics.com/product/thermo-electric-cooler-tec-controllers/>
- Vaidya, V., Manwatkar, P., Narnaware, M., Gadve, U. & Anvikar, S. (2017). Design and Experimentation of Thermoelectric Refrigerator for Cold Storage Application. *International Journal of Scientific Engineering and Research*, 5(2), 68-71. <https://www.ijser.in>
- Whitman, W. & Johnson, W. (2000). Tecnología de la refrigeración y aire acondicionado. Refrigeración comercial. (Vol. II). España: Paraninfo Thomson Learning.
- Xi, H., Luo, L. & Fraisse, G. (2007). Development and applications of solar-based thermoelectric technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(5), 923-936. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2005.06.008>

INFORMACIÓN ACADÉMICA

En esta sección se solicita se incluya la información académica de cada uno de los integrantes del artículo como sigue:

Omar Olvera García: Ingeniero Mecánico Electricista egresado de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM, Técnico Académico Asociado C, del Departamento de Ingeniería y tecnología de la FES Cuautitlán.

Omar Armando Cornejo Becerra: Ingeniero Mecánico Electricista egresado de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM. Profesor de Asignatura del Departamento de Física de la FES Cuautitlán.

Víctor Hugo Hernández Gómez: Ingeniero Mecánico Electricista egresado de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM. Profesor de Carrera Titular C, del Departamento de Ingeniería de la FES Cuautitlán. Responsable del Laboratorio de Investigación en Energías Renovables de la FES Cuautitlán.

AGRADECIMIENTOS

Trabajo realizado con el apoyo del Programa interno de cátedras de investigación (FES Cuautitlán – UNAM), por el apoyo brindado a través del proyecto CI2252.

Trabajo realizado con el apoyo del Programa UNAM-DGAPA-PAPIME PE100222.





IF-01

Sistema de transferencia estadístico y de reportes para el control de seguimiento a egresados en ENOI

*Emmanuel Ulises Montalvo Pérez**, Juan Carlos Rodríguez Campos, Mariana Rico Chagollán, Gabriela Vidal Ortiz, Hugo Enrique Pérez Arias

RESUMEN

Esta investigación se centra en la Escuela Normal Oficial de Irapuato (ENOI), donde actualmente el seguimiento a egresados, no cuenta con un sistema de software especializado para realizar el proceso de entrevista y obtener los datos estadísticos, todo esto se realiza de forma manual, donde se emplean tecnologías de terceros, las cuales son Google Forms y Microsoft Excel. Debido a esto se han presentado gran cantidad de fallos en el proceso, entre los más frecuentes se han detectado los relacionados con la integridad, consistencia y redundancia de los datos. Estos fallos han causado distintos inconvenientes, tales como pérdida de información del seguimiento a egresados, recaptura de información que el administrador no almacenó y la necesidad de manipular directamente los archivos de hojas de cálculo sin olvidar que algunos datos se necesitan para graficar y no están capturados. Todo este proceso de evaluación es demasiado tedioso, así como el almacenamiento y procesamiento de los datos obtenidos. Por tal motivo es necesario evaluar las estrategias y valorar la calidad de los servicios educativos que se ofrece en la institución obteniendo el Seguimiento de Egresados de la ENOI. Es por eso que el objetivo de este proyecto es desarrollar un sistema de monitoreo para realizar encuestas, y mejorar el rendimiento académico de los estudiantes con el fin de brindar una solución y automatizar el proceso. El Seguimiento a Egresados se realiza un año después de su egreso para cada generación con el fin de dar oportunidad a que se involucren en el mercado de trabajo y así, poder obtener información de su desempeño profesional.

Palabras claves: Procesos administrativos, seguimientos egresados, reportes, estadísticas.

ABSTRACT

This research focuses on the Escuela Normal Oficial de Irapuato (ENOI), where currently the monitoring of graduates does not have a specialized software system to carry out the interview process and obtain statistical data, all this is done manually, where third-party technologies are used, which are Google Forms and Microsoft Excel. Due to this, there have been a large number of failures in the process, among the most frequent those related to the integrity, consistency and redundancy of the data. These failures have caused various inconveniences, such as loss of information from the follow-up of graduates, recapture of information that the administrator did not store, and the need to directly manipulate spreadsheet files without forgetting that some data is needed for graphing and is not captured. This entire evaluation process is too tedious, as well as the storage and processing of the data obtained. For this reason, it is necessary to evaluate the strategies and assess the quality of the educational services offered in the institution, obtaining the Follow-up of ENOI Alumni. That is why the objective of this project is to develop a monitoring system to carry out surveys, and improve the academic performance of students in order to provide a solution and automate the process. Graduates follow-up is carried out one year after graduation for each generation in order to give them the opportunity to get involved in the job market and thus be able to obtain information on their professional performance.

Keywords: Administrative processes, follow-up graduates, reports, statistics.

INTRODUCCIÓN

En la Escuela Normal Oficial se ha distinguido por ser una institución de nivel superior dedicada a la formación de profesionales de la educación preescolar, primaria y especial, a través de la adecuada operación de sus planes y programas vigentes, para contribuir al mejoramiento de la sociedad, congruente con los fines educativos.

Las disposiciones técnicas y administrativas para el seguimiento de egresados, es un instrumento que integra en forma ordenada las normas y procesos que deben ser considerados para la realización de una evaluación continua de la pertinencia de los programas educativos a través de sus egresados. En estas disposiciones, se perfilan de manera estandarizada el conjunto de actividades para el incremento de la calidad y competitividad académica.

* Tecnológico Nacional de México/ITESI. lis19110404@irapuato.tecnm.mx. Estudiante de Ingeniería en Sistemas Computacionales. Tecnológico Nacional de México/ITESI. juan.rc@irapuato.tecnm.mx. Profesor de tiempo completo. Tecnológico Nacional de México/ITESI. mariana.rc@irapuato.tecnm.mx. Profesor de tiempo completo. Escuela Normal Oficial/ENOI. gvidalo.enoi.edu.mx. Profesor de tiempo completo. Tecnológico Nacional de México/ITESI. lis19110147@irapuato.tecnm.mx. Estudiante de Ingeniería en Sistemas Computacionales.





Interfaz gráfica de usuario

Un programa que hace las veces de intermediario entre usuario y máquina. Un software que muestra de forma visual todas las acciones posibles en una plataforma, así como la información disponible, para que los usuarios puedan interactuar con mayor facilidad y sin necesidad de disponer de profundos conocimientos de informática.[1]

Lenguaje de programación

Una herramienta que permite desarrollar software o programas para computadora.[2]

PHP

Es un lenguaje de programación que permite el desarrollo web o aplicaciones web dinámicas, el cual es apto para incrustar el lenguaje HTML.[3]

Html

Lenguaje de Marcado de Hipertexto. Es el código que se utiliza para estructurar y desplegar una página web y sus contenidos.[4]

Base de Datos

Una recopilación organizada de información o datos estructurados, que normalmente se almacena de forma electrónica en un sistema informático. Debidamente, una base de datos está controlada por un sistema de gestión de bases de datos (DBMS). [5].

DBMS

Sirve como interfaz entre la base de datos y sus programas o usuarios finales, lo que permite a los usuarios recuperar, actualizar y gestionar cómo se organiza y se optimiza la información. [6]

Servidor

Es un programa que ofrece un servicio especial que otros programas denominados clientes pueden usar a nivel local o a través de una red. El tipo de servicio depende del tipo de software del servidor. La base de la comunicación es el modelo cliente-servidor y, en lo que concierne al intercambio de datos, entran en acción los protocolos de transmisión específicos del servicio. [7]

My Sql

Es el sistema de gestión de bases de datos relacional más extendido en la actualidad al estar basada en código abierto. [8].

Página Web

Es un documento accesible desde cualquier navegador con acceso a internet, y que puede incluir audio, vídeo, texto y sus diferentes combinaciones. [9].

Frontend

Es la parte del desarrollo web que se dedica a la parte frontal de un sitio web, en pocas palabras del diseño de un sitio web, desde la estructura del sitio hasta los estilos como colores, fondos, tamaños hasta llegar a las animaciones y efectos. [10].

Backend

Es la capa de acceso a los datos, ya sea de un software o de un dispositivo en general, es la lógica tecnológica que hace que una página web funcione, lo que queda oculto a ojos del visitante. [11]

Css

Se encarga del formato y diseño visual de las páginas web escritas en Html) para darle estructura y estilo al sitio.[12]

JavaScript

Un lenguaje de programación, rápido y seguro para programar centros de datos, consolas, teléfonos móviles o Internet, para complementar los anteriores y darles dinamismo a los sitios web. [13]

METODOLOGÍA

Este proyecto es desarrollado como apoyo a la ENOI dentro de la carrera de ingeniería en sistemas computacionales, al desarrollar un formulario en una página web que permita llevar información sobre los egresados, a través de un cuestionario. Para la realización de este proyecto se implementará el modelo de cascada, también llamado ciclo de vida clásico que sugiere un enfoque sistemático y secuencial para el desarrollo de software, que comienza con la especificación de requerimientos por parte del cliente y avanza a través de planeación, modelado y construcción y despliegue, para concluir con el apoyo del software terminado. Como se muestra en la figura 1.



Figura 1.- Ciclo de Vida en cascada

Se ha decidido utilizar el ciclo de vida de cascada al ser considerado el más adecuado por el tiempo posible del desarrollo y permitir al usuario final hacer uso del sistema es un tiempo relativamente corto, tomando en cuenta tres partes importantes para su desarrollo: Programación, laboratorio de usabilidad y propuestas de mejora de la aplicación, como se muestra en la tabla 1.



Tabla 1.- Actividades y etapas del ciclo

Actividad	Etapas
Requisitos	Análisis
Diseño	
Implementación	Programación
Verificación	
Mantenimiento	Visualización Final

1.- Análisis

Como primera etapa del desarrollo del sistema se debe tener en cuenta el análisis, la técnica de recolección de datos será por medio de una encuesta

en la cual nos proporcionaron diferente información la primera de ellas fue los datos generales como lo muestra la figura 2 que muestra los datos generales y los datos académicos como se muestra en la figura 3.

ESCUELA NORMAL OFICIAL DE IRAPUATO		
Estado de Revisión	5	Código
Nombre del documento:	Instrumento para egresados	ENOI-SGC-PO-37-04
		Página 1 de 8

INSTRUMENTO DEL PROGRAMA INSTITUCIONAL DE SEGUIMIENTO A EGRESADOS

La Escuela Normal Oficial de Irapuato preocupada por el mejoramiento de la calidad en la formación profesional, está realizando un esfuerzo por conocer cuáles son las exigencias que el ejercicio profesional les plantea a los egresados de la institución, para de esa manera responder de manera eficiente a la sociedad a quien debemos nuestra existencia. En este sentido, la presente encuesta tiene como objetivo conocer la trayectoria laboral de los egresados de licenciatura de la escuela formadora de docentes. Puede estar completamente seguro que las respuestas son confidenciales y serán reportadas de manera general.

I. DATOS GENERALES

NOMBRE:	APELLIDO PATERNO:	APELLIDO MATERNO:
CALLE:	NÚMERO:	CIUDAD:
ESTADO:	COLONIA:	C.P.:
TEL. 1:	CORREO:	
Sexo:		

1	Masculino	2	Femenino
---	-----------	---	----------

Estado Civil:

1	Soltero (a)	2	Casado (a)	3	Unión libre	4	Divorciado (a)	5	Viudo (a)
---	-------------	---	------------	---	-------------	---	----------------	---	-----------

Figura 2.- Datos generales

Licenciatura que estudiaste:

1	Preescolar	2	Primaria	3	Especial
---	------------	---	----------	---	----------

¿Cómo se sostuvo económicamente durante sus estudios? (Señale la opción principal)

1	Por padres
2	Por otros familiares
3	Por pareja
4	Por beca/crédito educativo
5	Tuvo que trabajar
6	Por otros medios

¿Está titulado?

1	Si	2	No
---	----	---	----

Figura 3.- Datos académicos

El siguiente cuestionario se utiliza HTML5 para desarrollar el contenido y CSS3 para el diseño visual como lo son los colores, tipos de las letras y tamaños como se ve en la figura 4, en el cual se utiliza una escala de tipo Likert.



	Excelente	Muy Bueno	Bueno	Regular	Deficiente
¿Como considera su desempeño laboral respecto asu formación académica?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
¿Como califica el nivel de satisfacción que posee respecto a la formación academica recibiday su desempeño laboral?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Nos interesa su opinión en torno a la organización administrativa de la Institución	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Figura 4.-Vista de formulario

Así mismo el análisis de la base de datos y la información del servicio se diseñaron con MySQL donde en una tabla llamada “Evaluación_egresados” será la principal en este sistema ya que tendrá relación con las tablas en donde se almacenarán las respuestas y las preguntas como se puede ver en la figura 5. Cabe resaltar que solo se muestran algunas tablas de toda la base de datos.

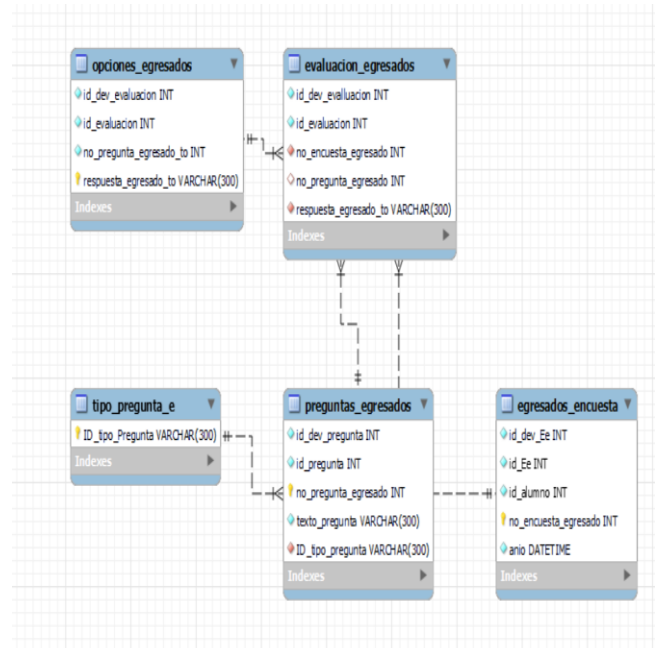


Figura 5.- Base de datos





2.- Programación y Visualización

Para la programación es importante la interfaz, para establecer una mejor comunicación entre el usuario y el formulario. La cual consiste en el desarrollo de preguntas abiertas, cerradas y escala Likert como se muestra en la figura 6.

```

</form>
<form action="" class="Pregunta-Eva">
  <nav class="tab">
    <table border="1">
      <tr>
        <th><p></p></th>
        <th>Excelente</th>
        <th>Muy Bueno</th>
        <th>Bueno</th>
        <th>Regular</th>
        <th>Deficiente</th>
      </tr>
      <tr>
        <td class="tab1">
          <td>¿Como considera su desempeño laboral respecto asu formación académica?</td>
          <td><input type="radio" name="Cal1" id="Excelente"></td>
          <td><input type="radio" name="Cal1" id="Muy Bueno"></td>
          <td><input type="radio" name="Cal1" id="Bueno"></td>
          <td><input type="radio" name="Cal1" id="Regular"></td>
          <td><input type="radio" name="Cal1" id="Deficiente"></td>
        </td>
      </tr>
      <tr>
        <td class="preg2">
          <td><p>¿Como califica el nivel de satisfacción que posee respecto a la</p>
          <p>formación académica recibiday su desempeño laboral?</p></td>
          <td><input type="radio" name="Cal2" id="Excelente"></td>
          <td><input type="radio" name="Cal2" id="Muy Bueno"></td>
          <td><input type="radio" name="Cal2" id="Bueno"></td>
          <td><input type="radio" name="Cal2" id="Regular"></td>
          <td><input type="radio" name="Cal2" id="Deficiente"></td>
        </td>
      </tr>
    </table>
  </nav>
</form>

```

Figura 6.- Código de programación para formulario

En la siguiente figura 7 se muestra el código cuando se crean las preguntas de la sección de datos académicos y poder almacenar la respuesta en un input.

```

17 <div class="Cuerpo">
18 <form action="" class="Pregunta-Libre">
19 <div class="preg1">
20 <p>¿Como se sostuvo económicamente durante sus estudios? </p>
21 <input type="radio" name="Eco" id="Padres">
22 <label for="Padres">Padres</label>
23 <input type="radio" name="Eco" id="Otros Familiares">
24 <label for="Otros Familiares">Otros Familiares</label>
25 <input type="radio" name="Eco" id="Pareja">
26 <label for="Pareja">Pareja</label>
27 <input type="radio" name="Eco" id="Beca">
28 <label for="Beca">Beca/Crédito Educativo</label>
29 <input type="radio" name="Eco" id="Tabajar">
30 <label for="Tabajar">Tuvo que trabajar</label>
31 <input type="radio" name="Eco" id="Otros">
32 <label for="Otros">Por otros medios</label>
33 </div> </form>

```

Figura 7.- Código de programación para formulario 2

En la parte de programación se realizó una tabla llamada “Evaluación egresados” el cual será parte principal de la base de datos para este módulo, almacenará información básica del egresado desde la otra relación “Egresados encuesta” con el campo “no_encuesta_egresado”, tomará la información de las preguntas desarrolladas en el sistema por el administrador desde “Preguntas egresados” mediante el campo “no pregunta egresado” y las opciones mediante “Opciones egresados” en donde llevará relación

mediante el campo “Respuesta egresado” cómo se puede apreciar en la figura 8.

```

create database EGRESADOS;
use EGRESADOS;

create table Egresados_encuesta(
  id_dev_Ee int not null,
  id_Ee int not null,
  id_alumno int not null,
  no_encuesta_egresado int not null primary key,
  anio datetime not null
);

create table Tipo_Pregunta_e(
  ID_tipo_Pregunta varchar (300) not null primary key
);

create table preguntas_egresados(
  id_dev_pregunta int not null,
  id_pregunta int not null,
  no_pregunta_egresado int primary key,
  texto_pregunta varchar(300) not null,
  ID_tipo_pregunta varchar (300) not null, foreign key (ID_tipo_Pregunta)
  REFERENCES Tipo_Pregunta_e (ID_tipo_Pregunta)
);

create table Opciones_egresados(
  id_dev_evaluacion int not null,
  id_evaluacion int not null,
  no_pregunta_egresado_to int not null,
  respuesta_egresado_to varchar (300) primary key
);

```

Figura 8.- Código de la Base de datos

RESULTADOS

Para la interacción entre el egresado y el cuestionario se utilizó JavaScript ya que su principal uso está en la necesidad de integrar elementos de interactividad, animación y movimiento de datos como se muestra en la figura 9, en el cual se utilizan radios para que el usuario pueda seleccionar las respuestas.

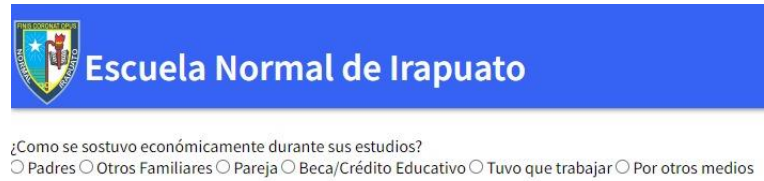


Figura 9 – Vista de pregunta cerrada.

El seguimiento a egresados cuenta con graficas con las que se pueden apreciar el porcentaje de las respuestas, estas funcionan para analizar la trayectoria laboral que han tenido. En la página web se utilizó CharJS para elaborar el diseño de las gráficas y así el administrador pueda visualizar de mejor manera los resultados como se muestra en la figura 10, el cual es un ejemplo de la pregunta del ingreso mensual del Egresado.

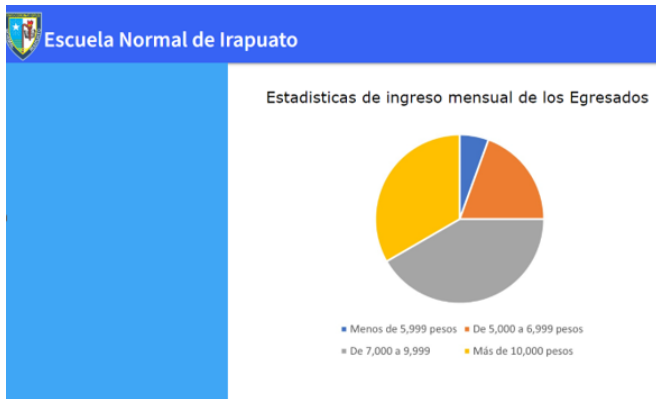


Figura 10 – Estadísticas del ingreso mensual de los egresados.

Se realizaron estadísticas para comparar la eficiencia que se tiene entre el actual sistema y con el proceso anterior que se utilizaba para analizar los resultados de las encuestas y los resultados se pueden apreciar en la figura 11.



Figura 11 – Estadísticas de la eficiencia entre el sistema anterior y el actual.

Anteriormente el proceso de aplicar las encuestas y analizar los resultados se tomaban alrededor de treinta y tres días. Actualmente con el software aplicado en este proceso se demoran únicamente

tres días para aplicar las encuestas y obtener los resultados como se puede ver en la figura [12].

Tiempo de demora durante el proceso



Figura 12 – Comparación de tiempo de demora durante el proceso.

CONCLUSIÓN

Como primera observación se puede destacar que un software es una increíble herramienta para lograr lo que se quiera conociendo el desarrollo y funcionamiento de este. La increíble importancia de un software desarrollado para una institución es muy importante ya que agiliza los procesos dentro del sistema educativo y mejora el trabajo de la institución desarrollando un mejor ambiente para el área académica como el área administrativa. En la actualidad es muy importante que las instituciones cuenten con sus propios sistemas para brindar un mejor servicio ya que en el mundo la tecnología avanza para facilitar trabajos y procesos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Neoattack.com. (s.f.). Obtenido de neoattack.com: <https://neoattack.com/neowiki/interfaz-grafica-de-usuario/>
- [2] Monterde, U. M. (s.f.). programas.cuaed.unam.mx. Obtenido de [programas.cuaed.unam.mx: https://programas.cuaed.unam.mx/repositorio/moodle/pluginfile.php/1023/mod_resource/content/1/contenido/index.html](https://programas.cuaed.unam.mx/repositorio/moodle/pluginfile.php/1023/mod_resource/content/1/contenido/index.html)
- [3] Agency, M. D. (19 de mayo de 2021). www.epitech-it.es. Obtenido de [www.epitech-it.es: https://www.epitech-it.es/que-es-php/](https://www.epitech-it.es/que-es-php/)
- [4]D developer.mozilla.org. (s.f.). Obtenido de [developer.mozilla.org: https://developer.mozilla.org/es/docs/Learn/Getting_started_with_the_web/HTML_basics](https://developer.mozilla.org/es/docs/Learn/Getting_started_with_the_web/HTML_basics)
- [5] oracle.com. (31 de Julio de 2014). Obtenido de [oracle.com: https://www.oracle.com/mx/database/what-is-database/#:~:text=Una%20base%20de%20datos%20es,bases%20de%20datos%20\(DBMS\).](https://www.oracle.com/mx/database/what-is-database/#:~:text=Una%20base%20de%20datos%20es,bases%20de%20datos%20(DBMS).)



- [6] ionos.mx. (15 de septiembre de 2020). Obtenido de ionos.mx:
<https://www.ionos.mx/digitalguide/servidores/know-how/que-es-un-servidor-un-concepto-dos-definiciones/>
- [7] GoDaddy, E. e. (04 de octubre de 2019). godaddy.com.mx. Obtenido de godaddy.com.mx: <https://mx.godaddy.com/blog/que-es-un-sitio-web/#:~:text=Un%20sitio%20web%20es%20un,de%20inicio%20o%20Home%20page.>
- [8] Robledano, A. (24 de septiembre de 2019). openwebinars.net. Obtenido de openwebinars.net: <https://openwebinars.net/blog/que-es-mysql/>
- [9] Peiró, R. (08 de Julio de 2019). economipedia.com. Obtenido de economipedia.com: <https://economipedia.com/definiciones/pagina-web.html>
- [10][11][12] García, I. J. (31 de marzo de 2021). servnet.mx. Obtenido de servnet.mx: <https://www.servnet.mx/blog/backend-y-frontend-partes-fundamentales-de-la-programacion-de-una-aplicacion-web.>

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Emmanuel Ulises Montalvo Pérez: Estudiante de la carrera en Ingeniería en Sistemas Computacionales.

Juan Carlos Rodríguez Campos: Ingeniero en Sistemas Computacionales egresado del Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, Maestro en Ciencias de la Educación egresado CAJEME, Sonora, Doctorado en Educación egresado UNICLA.

Mariana Rico Chagollán: Ingeniero en Sistemas Computacionales egresado del Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, Maestro en Educación egresado de la Universidad Virtual de Guanajuato.

Gabriela Vidal Ortiz: Licenciada en Educación egresada de la Escuela Normal Oficial Irapuato, Maestra en Educación de la Universidad Benemérita y Centenaria Escuela Normal Oficial de Guanajuato, Doctorado en Educación egresado UNICLA.

Hugo Enrique Pérez Arias: Estudiante de la carrera en Ingeniería en Sistemas Computacionales.





Control de temperatura en laboratorio de máquinas eléctricas, cálculo y selección de equipo

Ricardo Navarro Soto, María de Jesús Velázquez Vázquez, Juan Daniel Rivas Martínez, Martín Darío Castillo Sánchez*

RESUMEN

El objetivo de este trabajo se centró en el cálculo y selección de equipo de control de temperatura, así como, la selección de sensores y su ubicación dentro del laboratorio, con el fin de mantener una temperatura agradable dentro del mismo, el laboratorio está integrado principalmente por equipos eléctricos y electrónicos, los cuales generan calor durante su operación, aunado a esto en época de calor se vuelve incomodo el trabajar en esta situación, esto redundando en la productividad y desempeño de quienes ahí laboran, se realizaron mediciones de temperatura en los meses de enero a junio, se calculó la carga térmica de todos los equipos, personas, paredes, techos, en los cálculos se aplicaron criterios de la norma ASHRAE, se obtuvieron los datos, se hicieron cálculos que nos permitieron seleccionar los equipos y sensores, se ubicó y programó a los sensores para el adecuado funcionamiento de los equipos.

ABSTRACT

The aim of the present work focused on the calculation and selection of control equipment temperature, as well as the selection of sensors and their location within the laboratory, in order to maintain a pleasant temperature within it, the laboratory is mainly integrated by electrical and electronic equipment, which generates heat during its operation, coupled with this in hot weather it becomes uncomfortable to work in this situation, this results in the productivity and performance of those who work there, temperature measurements were made in the months from January to June, thermal load of all the equipment, people, walls, ceilings was calculated, the criteria of the ASHRAE standard were applied in this calculus, the data was obtained, calculus were made that allowed us to select the equipment and sensors, the located and programmed sensors for the proper functioning equipment.

Palabras claves: Control, fluido, sensores, carga térmica.

INTRODUCCIÓN

Se sabe que trabajar bajo situaciones no ideales causa trastornos en el cuerpo humano, debido a la problemática que existe en el laboratorio B08 de pesados de ICA ESIME Zacatenco, el presente trabajo está pensado en estas circunstancias actuales de dicho laboratorio, como bien se sabe el calor acumulado en un cuarto de control el Calor es un tipo de energía que se produce por la vibración de moléculas y que provoca la subida de la temperatura, la dilatación de cuerpos, la fundición de sólidos y la evaporación de líquido.

Se sabe que existen diferentes tipos de instrumentos para medir la temperatura generada por calor para ello en este trabajo se hace un estudio a fondo de las consecuencias que traje consigo trabajar bajo las condiciones de incrementos de temperatura, así como el análisis del material con que dicho laboratorio está construido, también se muestra cuales con las mejores condiciones para trabajar. Haciendo uso de los materiales ya existentes en el mercado se hace un diseño y propuesta para mejorar las condiciones de trabajo y así lograr un incremento y mayor aprovechamiento de aprendizaje en los alumnos.

El aire acondicionado en el mercado existen una multitud de tipos de sistemas, por lo que aquí se tratara uno de los más comunes, explicando su forma y funcionamiento, detallando sus ventajas e inconvenientes. Para hacer el control de este sistema de aire acondicionado, se construyó un tablero de control, como se muestra en la figura 1 el cual permite manipular, de así requerirse este sistema, cuenta internamente con un Logo 8.1, así como su respectivo cableado y programación, y este será quien mande las señales de control para la activación de aire acondicionado así como también la activación del extractor de aire, el sensor colocado en el cuarto de control será quien determine la temperatura idea y mandara una señal al tablero para la desactivación del aire acondicionado este ciclo será repetido cuantas veces sea necesario.

Este trabajo está pensado en el beneficio de toda la comunidad de ESIME así que se esperan los mejores resultados y el mejor aprovechamiento posible.

* Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Zacatenco, Departamento de Mecánica, Dr. Martín Darío Castillo Sánchez, C. Dr. María de Jesús Velázquez Vázquez, Ing. Juan Daniel Rivas Martínez, Correo electrónico: avinfer@hotmail.com

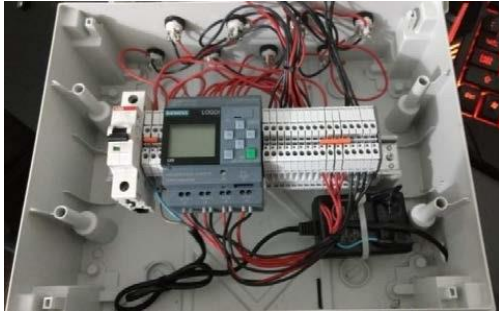


Figura 1: Tablero de control

DESARROLLO

La ESIME Unidad Zacatenco, cuenta con varios laboratorios para las diversas carreras que esta ofrece, en el caso de la carrera de Ingeniería en Control y Automatización, estos se ubican en los Laboratorios Pesados 1, los cuales se encuentran acondicionados para materias de electrónica (laboratorios A) o para las materias de máquinas eléctricas, comunicaciones industriales, control avanzado, manipuladores industriales, etc. En estos laboratorios, conocidos como los laboratorios B, se encuentra una gran cantidad de equipos tales como PLC's, PAC's, servo drivers, servomecanismos, motores, válvulas hidráulicas entre otros. Los laboratorios de la carrera de ICA están dentro en los laboratorios pesados 1, se ubica entre el edificio ZI y la Dirección de Administración Escolar, como se observa en la Figura 2.

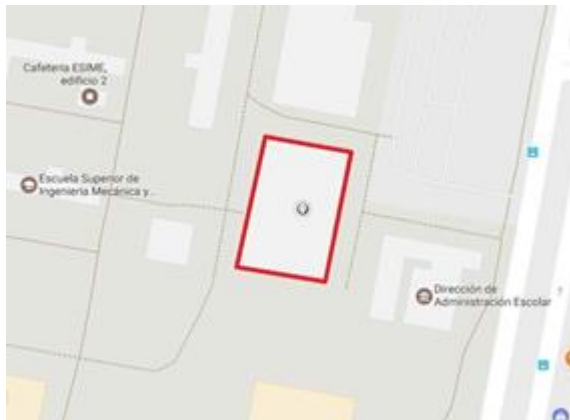


Figura 2: Ubicación de los laboratorios pesados 1 dentro de la ESIME Zacatenco

El laboratorio B8 del pesados 1 perteneciente a la carrera de ICA ESIME Zacatenco cuenta con equipos y diversos componentes principalmente eléctricos los cuales generan calor, aunado a las temperaturas ambientales altas, provocan incomodidad, sueño, malestar y ambientes tediosos; como consecuencia un bajo desempeño académico durante todo el año escolar.

Para determinar la necesidad de la implementación de un sistema de aire acondicionado para el laboratorio, se realizaron mediciones de temperatura durante los meses de Febrero a Junio teniendo

como promedio de 25.93°C con un pico de 30°C, considerando que la temperatura de confort para el humano oscila entre 21 y 26°C, se considera que dada a la cercanía del límite de temperatura de confort con la temperatura promedio calculada, es necesario aplicar un sistema que permita a alumnos y docentes trabajar en condiciones óptimas que permita un mejor desempeño (Carrier 2020).

Por esto se propone hacer una propuesta de un control de temperatura dentro de este, utilizando sistema de aire acondicionado únicamente controlado por medio de un PLC Logo, además basándonos en experiencias propias, determinamos que el calor que siente dentro de las instalaciones produce peores consecuencias que las escasas temperaturas bajas.

SELECCIÓN DE EQUIPOS

Sensores de temperatura, se seleccionó el LM35 dado a su respuesta de salida lineal y rango de operaciones.

Relevadores de 12 v con el fin de evitar daños a el LOGO Aire acondicionado solo frio de 24000 BTU/h.

5 Placas fenólicas de 5 x 10cm 4 Bornes de conexión de 2

10 Resistencias de 1.2 y 1 k

2 Extractores de aire de 150 m3/h. 10 OPAMP LM741

1 LOGO 6ed1052-1md00-0ba8

1 Tarjeta EA 6ED1055-1MM00-0BA2

1 Fuente de alimentación 24 VCD

Para realizar la selección de estos equipos, se tiene que hacer el cálculo de cargas terminas, el total, es la suma de los calores desprendidos por personas, maquinarias y por radiación por paredes y techos, en el caso de las cargas terminas por personas, se ocupa la norma ASHRAE, que especifica el calor desprendido por persona a temperaturas específicas, para el desprendido por maquinaria, se recurre a las hojas de datos de estas y para el calor por radiación de ocupa la ecuación 1 (Hernández 2007):

$$Q_{str} = K * S * (T_{ec} - T_i) \quad (1)$$

Dónde:

K: constante de la transmisión térmica del material. S: superficie del local expuesta al sol.

T_i: temperatura interna del local.

T_{ec}: temperatura extrema del local, que se calcula con la ecuación 2:

$$T_{ec} = 0.4T_{me} + 0.6T_{max} \quad (2)$$

Dónde:

T_{me}: temperatura media del local T_{max}: temperatura máxima del local.

Los valores obtenidos fueron los siguientes (tabla 1 y 2.):



Tabla 1: Carga térmica por personas. Rodríguez (2023).

Temperatura (°C)	Calor desprendido por persona (kcal/h)	Cantidad de personas	Total de calor desprendido (kcal/h)
26	55	31	1705
27	50	31	1550
28	45	31	1395

Tabla 2: Carga térmica por maquinaria.

Máquina	Calor desprendido (kcal/h)	Cantidad en el laboratorio	Subtotal de calor desprendido (kcal/h)
Motores	749.69	6.00	4,498.12
Variadores	320.59	6.00	1,923.54
PC	214.96	15.00	3,224.40
PAC fuente y procesador	5.16	6.00	30.95
PAC tarjetas	2.79	30.00	83.58
Iluminación	0.01	31.00	0.34
			9,760.93

Transmisión y radiación por paredes y techos $T_{me} = 22.7 \text{ }^\circ\text{C}$

$T_{max} = 29 \text{ }^\circ\text{C}$ $K = 0.72$ $S = 20\text{m}^2$ $T_i = 23 \text{ }^\circ\text{C}$

$T_{ec} = (0.4 * 22.7 \text{ }^\circ\text{C}) + (0.6 * 29 \text{ }^\circ\text{C}) = 9.08 + 17.4 = 26.48 \text{ }^\circ\text{C}$ (3)

$Q_{str} = 0.72 * 20 * (26.48 - 23) = 0.72 * 20 * 3.48 = 50.112 \text{ w}$ (4)

Convirtiéndolo a Kcal/h

$Q_{str} = 43.08 \text{ Kcal/h}$ (5)

Obteniendo como total de cargas térmicas un calor de 11,653.67 Kcal/h.

De acuerdo a este valor de calor obtenido, se puede determinar que se requiere usar dos equipos de aire acondicionado de 2.5 TON, para seleccionar los extractores de aire, se requiere obtener el volumen del local, determinar la cantidad de renovación de aire por hora, usando las siguientes ecuaciones:

$$Q = V \times N \quad (6)$$

Dónde:

Q: caudal de aire [m³/hrs] V: volumen del local [m³]

N: número de renovaciones por hora.

Teniendo los siguientes valores calculados:

$$V = \text{ancho} \times \text{largo} \times \text{alto} = 8 \times 9 \times 2.4 = 172.8 \text{ m}^3 \quad (7)$$

$$Q = V \times N = 172.8 \times 2 = 345.6 \text{ m}^3/\text{h} \quad (8)$$

Teniendo este caudal y dadas las características del sistema que se desea realizar, se determina la necesidad de usar dos extractores de aire de 200 [m³/h] (Infraestructura Educativa 2014, Tricomi 2005).

FILOSOFÍA DE OPERACIÓN

Cada aire acondicionado trabajara con un extractor, sin embargo, estos extractores no actuaran de manera simultánea con los aire acondicionado puesto que se busca tener un ahorro de energía de manera que solo sean activados de acuerdo a las necesidades dentro del laboratorio, ésta selección se realiza por medio de 5 sensores de temperatura distribuidos dentro del laboratorio. Dado a que este tiene un rango de 0 a 10 volts de entradas analógicas, los sensores tienen una amplificación de señal de 23.5 veces, considerando el rango de temperaturas de confort, que se encuentra entre 21 y 26 °C, y que el sensor LM35 otorga 0.01v por grado detectado, se establece como rango mínimo una tensión de 4.935 y como rango máximo de 6.11 volts.

El LOGO recibe a sus entradas analógicas, las lecturas dadas por los sensores y realiza un promedio de las 5 entradas, si este es superior a los 6.11, mandara a activar ambos aire acondicionado y después de 10 segundos, sus respectivos extractores de aire.

Si el promedio de las 5 temperaturas es inferior a 6.11, se realizara un promedio entre los sensores 1, 4 y 5, si este es superior a los 6.11 volts, mandara a activar el aire acondicionado localizado en la parte delantera del laboratorio y después de 10 segundos, mandara activar el correspondiente extractor localizado frente a este.

Si el promedio de las 5 temperaturas es inferior a 6.11, se realizara un promedio entre los sensores 2 y 3, si este es superior a los 6.11 volts, mandara a activar el aire acondicionado localizado al fondo del laboratorio y después de 10 segundos, mandara activar el correspondiente extractor frente a este.

Si en el promedio de los 5 sensores tiene una temperatura inferior a los 4.935v mandara a desactivar tanto los aires acondicionados como los extractores de manera simultánea (Trejo 2009, Gámiz 2000).

PROGRAMACIÓN Y ESTRUCTURA DE SENSOR

El programa mostrado en la Figura 3, permite realizar la activación por secciones del sistema de aire acondicionado, donde las entradas 1, 4 y 5 corresponden a las salidas de los sensores colocados en la parte frontal del salón, y a su vez las salidas 1 y 2 corresponden a el aire acondicionado y el extractor respectivamente, la distribución es similar para las entradas 2 y 3, así como para las salidas 3 y 4, sin embargo estas corresponden a los equipos colocados al fondo del salón.

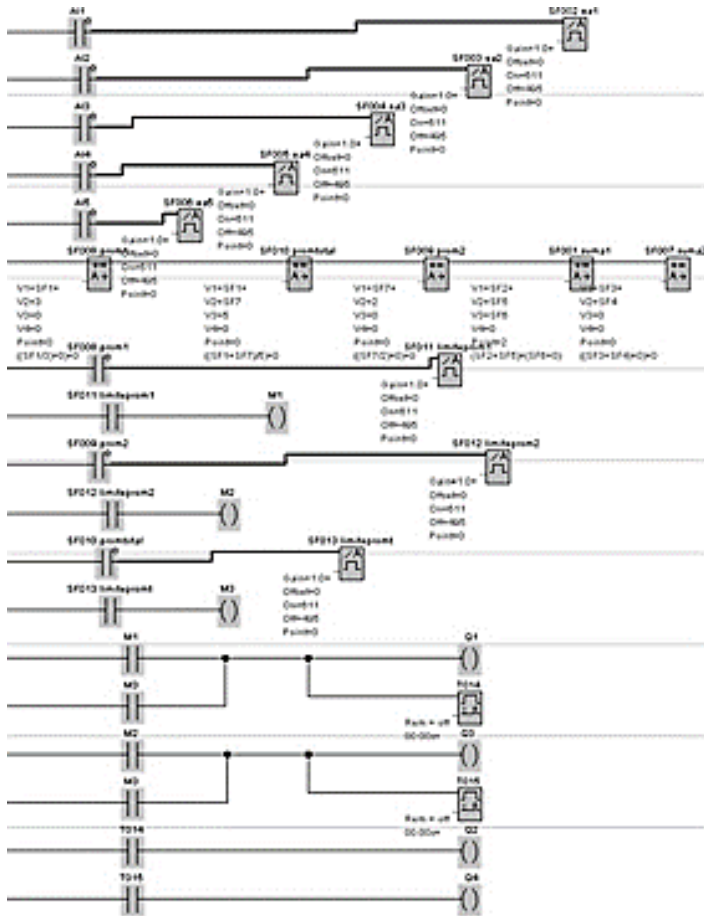


Figura 3: Programa realizado en LOGO V8

• Caso 1:

Se proponen las temperaturas siguientes, mostrada en la tabla 3.

Tabla 3. Temperaturas caso 1.

Sensor	Temperatura	Equivalente en mV
1	23	460
2	26	578
3	25	575
4	23	460
5	23	460

Por lo que los promedios serán los siguientes:

- Promedio 1 (sensores 1, 4 y 5): 23°C
- Promedio 2 (sensores 2 y 3): 25.5°C
- Promedio total: 23°C

De acuerdo a esta información, ninguno de los sistemas debe comenzar a trabajar como se puede comprobar en la imagen donde se tiene que tomar en cuenta las salidas Q únicamente, y como se muestra en la figura 4 se encuentran apagadas.

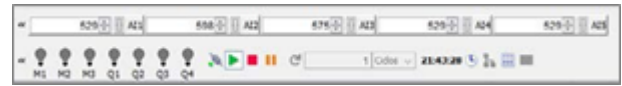


Figura 4: Reacción del sistema dentro de condiciones adecuadas de temperatura

• Caso 2:

Se proponen las temperaturas siguientes, mostradas en la tabla 4.

Tabla 4. Temperaturas caso 2.

Sensor	Temperatura	Equivalente en mV.
1	26	520
2	24	480
3	25	500
4	28	560
5	29	540

Por lo que los promedios serán los siguientes:

- Promedio 1 (sensores 1, 4 y 5): 26.66°C
- Promedio 2 (sensores 2 y 3): 24.5°C
- Promedio total: 25.8°C

De acuerdo a esta información, solo el AC y extractor de la parte frontal del salón deben de comenzar a trabajar como se puede comprobar en la imagen donde se puede apreciar que se encuentran activas solamente las salidas Q1 y Q2, como se muestra en la Figura 5.



Figura 5: Reacción del sistema al tener temperaturas elevadas únicamente al frente del salón.

También se puede tener, en este caso que se den los valores donde los sensores del fondo del salón, muestren una temperatura superior a la deseada, por lo que se proponen las siguientes temperaturas, mostradas en la tabla 5.



Tabla 5. Temperaturas sensores de salón.

Sensor	Temperatura	Equivalente en mV
1	25	500
2	27	540
3	26	520
4	26	520
5	29	540

- Promedio 1 (sensores 1, 4 y 5): 25.33°C
- Promedio 2 (sensores 2 y 3): 26.5°C
- Promedio total: 25.8°C

De acuerdo a esta información, solo el AC y extractor de la parte frontal del salón deben de comenzar a trabajar como se puede comprobar en la imagen donde se puede apreciar que las salidas Q3 y Q4 se activan únicamente, como se muestra en la imagen 6 mientras que Q1 y Q2 se encuentran apagadas.



Figura 6: Reacción del sistema al tener temperaturas elevadas únicamente al fondo del salón.

Nota: para estos casos, se consideró que estos valores fueron detectados con condiciones previas donde se tenía la temperatura dentro de los valores requeridos y con los AC y extractores apagados.

- Caso 3:

Para este caso, se tienen que hacer 3 pasos para la comprobación, el primero será demostrando el funcionamiento al detectar un promedio de temperaturas superior a 26°C.

Segundo paso: demostrar que el sistema sigue trabajando aun en temperaturas adecuadas, es decir se encuentra en “modo enfriamiento”.

Tercer paso: Finalmente al tener el promedio de las entradas 1, 4 y 5 en una temperatura adecuada de temperaturas en el límite requerido (21°C) o menor, el AC y extractor de la parte frontal del laboratorio se apagaran, mientras que con las entradas 2 y 3 se apagara el AC y extractor del fondo.

Paso 1:

Para el accionamiento del sistema se proponen los valores mostrados en la tabla 6.

Tabla 6. Valores de temperatura accionamiento del sistema.

Sensor	Temperatura	Equivalente en mV
1	26	520
2	25	500
3	26	520
4	27	540
5	27	540

- Promedio 1 (sensores 1, 4 y 5): 26.66°C
- Promedio 2 (sensores 2 y 3): 25.5°C
- Promedio total: 26.2°C

De acuerdo a la información en cuanto a promedios, se puede predecir que el sistema accionara las 4 salidas, activando ambos AC y extractores como se puede apreciar en la figura 7.

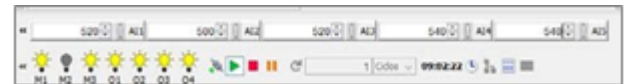


Figura 7: Reacción del sistema al tener un promedio de temperaturas elevadas dentro del salón

Paso 2: Para la simulación del proceso de enfriamiento se proponen las temperaturas siguientes (tabla 7).

Tabla 7. Valores de temperatura proceso de enfriamiento.

Sensor	Temperatura	Equivalente en mV
1	24	480
2	23	460
3	25	500
4	24	480
5	23	460

- Promedio 1 (sensores 1, 4 y 5): 23.66°C
- Promedio 2 (sensores 2 y 3): 24°C
- Promedio total: 23.8°C

Siguiendo la filosofía de control, el sistema continúa trabajando después de activado aun dentro de las condiciones deseadas (temperatura promedio de 21-26°C) como se puede observar en la figura 8.

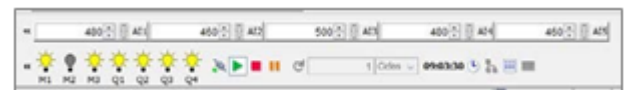


Figura 8: Reacción del sistema al estar enfriando el salón.



Paso 3:

Para la simulación del apagado de los sistemas se proponen las temperaturas siguientes (tabla 8).

Tabla 8. Valores de temperatura de apagado.

Sensor	Temperatura	Equivalente en mV
1	21	420
2	20	400
3	20	400
4	21	420
5	21	420

- Promedio 1 (sensores 1, 4 y 5): 21°C
- Promedio 2 (sensores 2 y 3): 20°C
- Promedio total: 20.6°C

De nuevo siguiendo la filosofía de control, se sabe que al tener todas las entradas con un valor igual o menor al límite mínimo de temperatura-voltaje (21°C o 420mV), se deberán apagar los 2 AC y extractores como se puede apreciar en la figura 9 y en la figura 10 se muestra la distribución de los sistemas de aire acondicionado (AC) en el laboratorio.

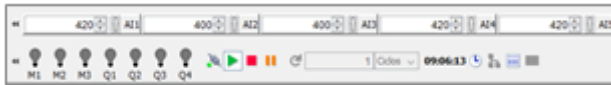


Figura 9: Reacción del sistema al llegar a la temperatura mínima deseada

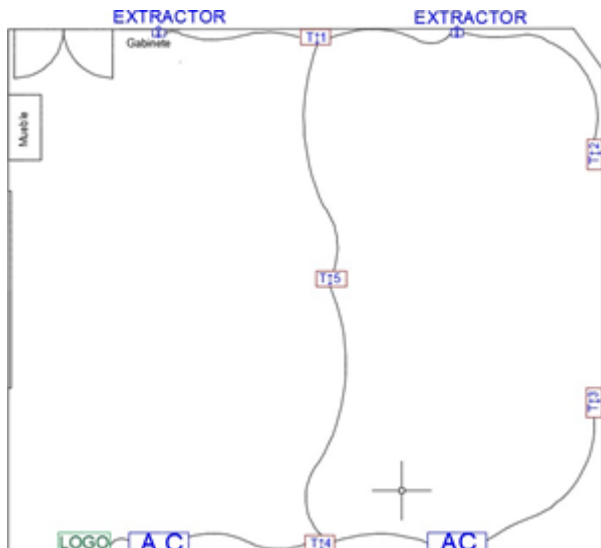


Figura 10: plano de distribución de equipos en el laboratorio

CONCLUSIONES

Las Investigaciones de condiciones ideales de confort del ser humano arrojaron que la humedad relativa oscila entre 30% y 70 % con una temperatura de 24 a 26 °C el ser humano está en confort. Recabando datos de temperatura y Humedad en la ciudad de México se encontró que era mínima la variación durante el año en comparación con otras ciudades con los cambios más bruscos. Por lo tanto, se decidió que añadir un control de humedad sería innecesario debido a que dentro del laboratorio B-08 no se llevan a cabo actividades que impliquen cambios en la humedad, porque solo se trabaja con equipos eléctricos, y así de igual forma disminuir el costo.

Al inicio del proyecto, se planteaba que solo era necesario el colocar un aire acondicionado, el cual se pensaba que era suficiente para mejorar las condiciones de temperatura dentro del laboratorio, conforme al desarrollo se obtuvo un resultado no esperado, y se tomó en cuenta que no solo inyectar aire mejoraría la temperatura ya que no se consideró el aire caliente que recirculaba dentro del laboratorio, se optó entonces por usar extractores que sacaran el aire caliente continuamente y mejorar el flujo de aire frío.

La distribución del aire acondicionado se planteó en un principio en “zigzag” para tener una corriente en todo el laboratorio, sin embargo debido a la estructura del laboratorio no era posible ya que las paredes son de tabla roca a excepción de la ubicada de frente a la puerta de acceso y el mini Split podría dañar la estructura de tabla roca por las vibraciones generadas debido a su funcionamiento.

Para la medición total de temperatura dentro del laboratorio se realiza por medio de 5 sensores los cuales cuentan con el sistema de amplificación de señal de manera inmediata, evitando que se genere pérdida de voltaje en la transmisión al controlador LOGO. Estos se encuentran distribuidos en el laboratorio a una altura de 1.20m dado a que es la altura de área de trabajo y por consiguiente es donde se pretende mantener el la temperatura adecuada.

El tablero de control tendrá la capacidad de encender y/o apagar los aires acondicionados dependiendo de la temperatura registrada en los sensores, así ahorrando energía ya que no es siempre necesario tener los dos aires acondicionados encendidos para cumplir las condiciones de confort, se encontrara ubicado en la parte delantera del salón específicamente junto a el escritorio de los profesores, donde este podrá tener fácil acceso a este para su mantenimiento.

En cuanto a los aires acondicionados y los extractores de aire se tienen dos de cada uno, instalados de la manera que se muestra anteriormente.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- Carrier (2020). “Manual de Aire Acondicionado”. Ed. Marcombo. España.
- Hernández Goribar (2007). “Fundamentos de Aire acondicionado y Refrigeración”, LIMUSA, México.
- Rodríguez Galbarro Hermenegildo (2023). “Guía Para El Cálculo De Las Cargas Térmicas En Los Edificios”. En línea, obtenido de: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn255.html>



Infraestructura Educativa (2014). “*Instalaciones de Servicio, Aire Acondicionado*”. Tomo III, Volumen 5. SEP México.

Tricomi Ernest (2005). *ABC de Aire Acondicionado*. Ed. Marcombo, España.

Trejo García Pedro (2009). “*Cálculo y Selección del Equipo para Sistema de Aire Acondicionado para un Teatro*”. Tesis Ing. Mecánica IPN. México.

Gámiz Caro Juan (2000). “*Control de Sistemas de Aire Acondicionado*”. Ed. CEAC España.

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Ricardo Navarro Soto: Ingeniero Mecánico egresado de la Escuela superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional, Maestro en Ingeniería Mecánica en energética, por la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la ESIME Zacatenco, profesor investigador de tiempo completo y exclusivo en el IPN.

María de Jesús Velázquez Vázquez: Licenciada en Economía por la Escuela Superior de Economía del Instituto Politécnico Nacional, Maestría en ciencias en educación y especialista en finanzas, Candidata a Doctor en Ciencias en Ingeniería de Sistemas por la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la ESIME Zacatenco, profesora investigadora de tiempo completo y exclusivo en el IPN.

Juan Daniel Rivas Martínez: Ingeniero Mecánico egresado de la Escuela superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional, Experto en Manufactura, profesor de tiempo completo en el IPN.

Martín Darío Castillo Sánchez: Ingeniero Mecánico egresado de la Escuela superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional, Maestría en Ingeniería Mecánica en diseño mecánico, por la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la ESIME Zacatenco, Doctorado en ciencias en ingeniería mecánica por la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la ESIME Zacatenco, profesor investigador de tiempo completo y exclusivo en el IPN.





Sistema de transferencia tecnológica para el control administrativo y procesos internos de RH en ENOI

Alexis Lemus Ogaz*, Juan Carlos Rodríguez Campos, Mariana Rico Chagollán, Gabriela Vidal Ortiz, Carlos Alberto Corona Razo, Ricardo Aaron Rentería Pérez

RESUMEN

Esta investigación se considera importante porque actualmente en el departamento de recursos humanos de la Escuela Normal Oficial (ENOI), no cuenta con un sistema de administración que le permita el desarrollo y coordinación eficiente del personal sino también sus mecanismos de selección, formación y estímulo al empleado, sin olvidar el control de claves presupuestales para los contratos de los docentes. En los tiempos actuales tener la información en tiempo real es primordial, esto permite atender las necesidades de los docentes en el menor tiempo posible. Las TIC nos da la oportunidad de crear, modificar y almacenar información. Su desarrollo ha evolucionado a la par con la sociedad, el conocimiento y lo educativo, permitiendo el acceso a la información en cualquier momento. El objetivo de este proyecto es el desarrollo de un sistema como herramienta de apoyo para el departamento de recursos humanos que le permitirá brindar contrataciones de docentes, obteniendo información sobre que claves oficiales presupuestales están vigentes y que docente la está utilizando de manera acorde a las horas del contrato oficial, con todo esto se pretende agilizar la consulta de información y la atención a los docentes incursionando en las nuevas tecnologías de la información por parte de la institución. Sin olvidar que el sistema realizará reportes de aquellos docentes que se encuentran inactivos por algún permiso, o becas especificando el motivo adecuado de su ausencia dentro de la institución y quienes están cubriendo sus plazas para no descuidar lo más importante que ofrece una institución como lo es el desarrollo del conocimiento.

Palabras claves: Procesos de administrativos, contratación, claves presupuestales, control de docentes

* Tecnológico Nacional de México/ITESI. lis19110725@irapuato.tecnm.mx. Estudiante de Ingeniería en Sistemas Computacionales.
Tecnológico Nacional de México/ITESI. juan.rc@irapuato.tecnm.mx. Profesor de tiempo completo.
Tecnológico Nacional de México/ITESI. mariana.rc@irapuato.tecnm.mx. Profesor de tiempo completo.
Escuela Normal Oficial/ENOI. gvidalo@enoi.edu.mx. Profesor de tiempo completo.
Tecnológico Nacional de México/ITESI. lis19110477@irapuato.tecnm.mx. Estudiante de Ingeniería en Sistemas Computacionales.
Tecnológico Nacional de México/ITESI. lis19110474@irapuato.tecnm.mx. Estudiante de Ingeniería en Sistemas Computacionales.

ABSTRACT

This research is considered important because currently in the human resources department of the Official Normal School (ENOI), it does not have an administration system that allows the development and efficient coordination of the personnel but also its selection, training and encouragement mechanisms. employee, without forgetting the control of budget keys for teacher contracts. In current times, having information in real time is essential, this allows meeting the needs of teachers in the shortest possible time. ICTs give us the opportunity to create, modify and store information. Its development has evolved along with society, knowledge and education, allowing access to information at any time. The objective of this project is the development of a system as a support tool for the human resources department that will allow it to provide teacher recruitment, obtaining information on which official budget keys are in force and which teacher is using it according to the hours of the official contract, with all this it is intended to expedite the consultation of information and attention to teachers by venturing into new information technologies by the institution. Without forgetting that the system will make reports of those teachers who are inactive due to some permit, or scholarships specifying the appropriate reason for their absence within the institution and those who are covering their places so as not to neglect the most important thing that an institution such as it offers. the development of knowledge.

Keywords: Administrative processes, hiring, budget keys, control of teachers.

INTRODUCCIÓN

La Escuela Normal Superior de Irapuato (ENOI), tiene un problema con la administración del departamento de recursos humanos que maneja los procesos de contratación de los docentes y manejo de claves oficiales. Actualmente este proceso los realiza a mano provocando algunos errores humanos sin contar el tiempo de atención a la institución por esta parte. Así mismo la rapidez de búsqueda de algún contrato se demora y en ocasiones no se encuentra el documento y hasta el desconocimiento de horas pagadas al docente y su tipo de contratación por el periodo a laborar.

Lenguaje de Programación

Un lenguaje de programación es una herramienta que permite desarrollar software o programas para computadora. Los





lenguajes de programación son empleados para diseñar e implementar programas encargados de definir y administrar el comportamiento de los dispositivos físicos y lógicos de una computadora. [1]

Software

Instrucciones (programas de cómputo) que cuando se ejecutan proporcionan las características, función y desempeño buscados; estructuras de datos que permiten que los programas manipulen en forma adecuada la información descriptiva tanto en papel como en formas virtuales que describen la operación y uso de los programas [2]

C#

C# es un lenguaje de programación orientado a objetos. C# proporciona construcciones de lenguaje para admitir directamente estos conceptos, por lo que se trata de un lenguaje natural en el que crear y usar componentes de software. [3]

SharpDevelop

Es un entorno de desarrollo integrado (IDE) para la plataforma .NET. Soporta las versiones de Microsoft y de Ximian. Soporta desarrollo de interfaces, clases, namespaces y proyectos en C#, C++ .NET y VB.NET, además de permitir importar los proyectos creados con Microsoft Visual Studio .NET. [4]

Base de Datos

Una base de datos es una recopilación organizada de información o datos estructurados, que normalmente se almacena de forma electrónica en un sistema informático, que es controlado por un sistema de gestión de bases de datos (DBMS). En conjunto, los datos y el DBMS, junto con las aplicaciones asociadas a ellos, reciben el nombre de sistema de bases de datos. [5].

My Sql

MySQL es un sistema de gestión de bases de datos que cuenta con una doble licencia. Por una parte, es de código abierto, pero por otra, cuenta con una versión comercial gestionada por la compañía Oracle. [6]

Sql

“El SQL es el lenguaje estándar ANSI/ISO de definición, manipulación y control de bases de datos relacionales. Es un lenguaje declarativo: sólo hay que indicar qué se quiere hacer”. [7]

Sitio Web

Es un conjunto de páginas web accesibles a través de internet, convenientemente enlazadas y con una finalidad concreta. Está identificado por una dirección URL única, que usualmente es la página de inicio o Home page. [8].

Hosting

“Un hosting es un servicio online que hace que se pueda acceder a tu sitio web en Internet. Cuando obtienes un hosting, básicamente alquilas un espacio en un servidor que almacena todos los archivos y datos de tu sitio web para que funcione correctamente.” [9].

Ciclo de Vida

El ciclo de vida del software está constituido por el conjunto de las etapas que preceden y las que siguen de la programación. Los métodos y técnicas de la ingeniería del software se inscriben dentro del marco delimitado por el ciclo de vida del software, y, más concretamente, por las diferentes etapas que se distinguen. [10].

Xampp

“XAMPP es una herramienta de desarrollo que te permite probar tu desarrollo web basado en PHP en tu propio ordenador sin necesidad de tener acceso a internet. Si eres un diseñador web o desarrollador web que recién está comenzando, no es necesario saber sobre las configuraciones de servidores (aun), ya que XAMPP te provee de una configuración totalmente funcional desde el momento que lo instalas.” [11]

Roles

Los roles son un conjunto de permisos que se le conceden a un tipo de usuario. Cada rol es capaz de hacer diferentes cosas dentro de un sistema informático. Con los roles se puede tener control de que puede y no puede hacer un usuario para así tener un control del sistema.

METODOLOGÍA

Este proyecto se desarrolló para agilizar los procesos del departamento de recursos humanos lo cual permitirá llevar la administración de contratación del docente, manejo de claves escolares, así como información del docente si se encuentra activo o está en alguna beca o permiso oficial. Para la implementación de este sistema se utiliza el ciclo de vida por prototipado como se muestra en la figura 1.



Figura 1.- Ciclo de Vida Basado en Prototipos

Mencionando que para este módulo se utiliza el ciclo basado en prototipos por las etapas y los diferentes requerimientos por el departamento, pero las actividades del ciclo de vida se retoman para que la arquitectura de programación junto con los estándares de codificación no afecte al proyecto en general del sistema, como se muestra a continuación en la siguiente tabla.1

Tabla 1.- Actividades y etapas del ciclo

Actividad	Etapas
Requisitos	Análisis
Diseño	
Implementación	Programación
Verificación	
Mantenimiento	Visualización Final

1.- Análisis

En la primera etapa del desarrollo de cada prototipo la sección de análisis es la más importante porque se obtendrán todos los requisitos que el sistema debe cumplir. En la primera iteración, la recolección de datos será por medio de una encuesta que se aplicará al personal de la institución, así como juntas para obtener toda la información necesaria. Durante las diferentes sesiones se obtuvieron las reglas fundamentales para el manejo de contratación y claves presupuestales como se muestra en la siguiente figura 2.

Envío por este medio la siguiente información:

1. Formato que se usa para las propuestas de contratación del personal docente en la ENOI.
2. Aclarar que hay tres tipos de estatus de los docentes: personal de base, personal interino y personal de contrato (honorarios). Para el caso del personal interino sus contratos van del 16 de agosto al 31 de enero o del 1 de febrero al 15 de agosto. En el caso del personal de contrato (honorarios) las fechas pueden variar por lo que no se si sea conveniente dejar un registro abierto.
3. En el rubro de los datos de identificación de los profesores, particularmente en su formación académica se requiere especificar el título del último grado de estudios obtenido (Maestría en..., Doctorado en...). También especificar el título del documento con el que obtuvo el grado, la escuela de procedencia y la fecha de obtención del título.

Figura 2.- Requisitos para de contrato

Así mismo en la figura 3 se puede apreciar una parte del formato de contratación para poderlo ingresar en una interfaz interactiva y sea más ágil su llenado obteniendo casi toda la información por medio de una base de datos optimizando los tiempos y procesos de recursos humanos.

Figura 3.- Formato de contrato

2.- Programación y Visualización

Las bases de datos son sistemas de organización en el que se depositan datos provenientes de un mismo contexto y que pueden ser consultados, agrupados, filtrados, etc. para extraer información de ellos. Una base de datos entre más grande sea, mayores serán los recursos de hardware que se necesitan para mantenerla y procesarla, por lo tanto, como se muestra en la figura 4 se observa la base de datos que es de vital importancia tener una para poder almacenar y consultar toda la información rápida y en tiempo real.

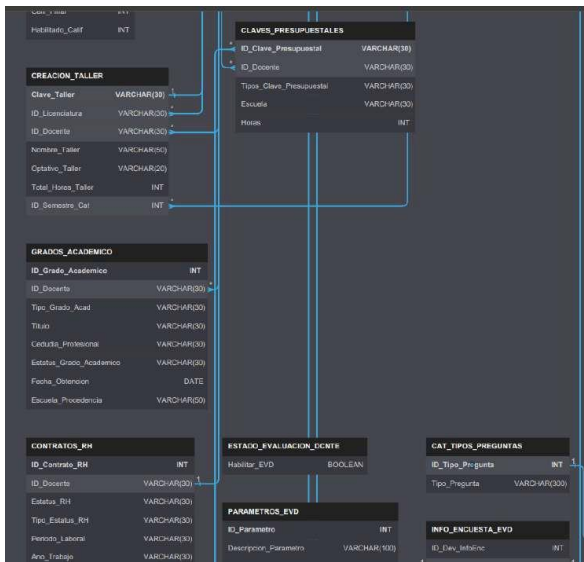


Figura 4.- Diseño de Base de Datos

Por otra parte, la creación de un sistema seguro y dinámico es esencial para que un equipo de TI entregue buenos resultados. Este, sin duda, es uno de los aspectos que demuestran lo relevante que es adoptar un código fuente. Como se muestra en la figura 5, se realiza parte de la programación para ofrecer una solución con un alto grado de usabilidad, también es crucial que el software priorice la protección de datos.

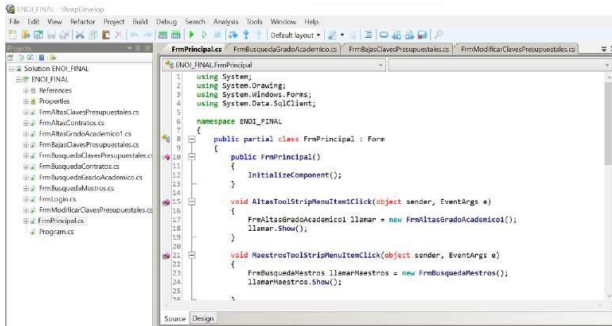


Figura 5.- Código de Programación

Una interfaz eficiente permite que el usuario interactúe de manera natural para que su experiencia sea cómoda y agradable. En la figura 6 nos permite visualizar todo lo que se obtiene de una programación mostrando un prototipo del menú principal para facilitar la navegación la búsqueda de contenido.

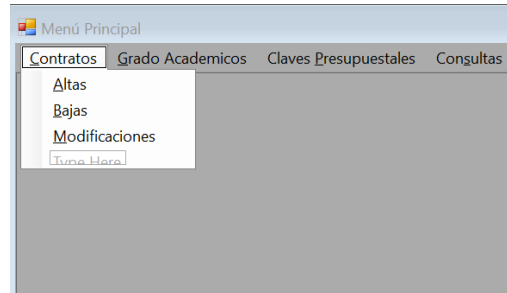


Figura 6.- Interfaz prototipo del menú principal.

RESULTADOS

Para este apartado se muestra en la figura 7 el inicio del sistema que se encarga de la autenticación del sistema, comprobando que el nombre de usuario y contraseña sean correctos, y establece un entorno inicial para el usuario activando permisos.



Figura 7.- Interfaz inicio de sesión.

Como se muestra en la figura 8, ya existen los ítems del menú contratos, grados académicos y claves presupuestales constan de las siguientes acciones que pueden efectuarse estas son altas, bajas y modificaciones. Los formularios se ejecutan mediante a las acciones, dependiendo del evento que se llegue a programar, en este caso el alta de un contrato, se ingresa la información necesaria que el administrador requiere para crear un nuevo contrato. En el caso dado que se desconozca algún dato podemos acceder al botón de consulta el cual nos mandará a un formulario para realizar búsqueda adecuada ya sea por contrato, docente o claves presupuestales.



ID	Nombre	Apellido	Apellido	RFC
E001	EDUARDO	ALFARO	LUNA	IF1234657HY6
E002	ALEJANDRO	MEZA	REYES	G6566K03278
E003	MANUEL	GUZMAN	HERNANDEZ	GTO675312J7
E004	ITZEL	MARTINEZ	MARTINEZ	T56781Y789
E005	CARLOS FEDERICO	FARFAN	HERNADEZ	ITS234S409M
E006	ANGEL GERARDO	LOZANO	VAZQUEZ	ITS768S40504

Figura 8.- Interfaz menú.

En la siguiente figura 9 se muestra el formulario de búsqueda con filtros para que sea más eficiente encontrar un docente, permitiendo elegir la opción más viable desde arriba del contenedor datagridview.

ID_Maestro_ENOL	Apellido_mat_Maes	Apellido_pat_Maes	Nombre_maestro	RFC_maestro	CURP_maestro	Correo_mae
1	Valtiera	Retana	Fernando	VATL900113MW8	FABM770222MM...	ogaz007@h...
2	Lemus	Ogaz	Alexis	GRA011009MW1	FAML781110MT...	lemosogaz00...
3	Ayala	Perez	Alejandro	ALE2011MT3	APA2341355LF4	rapuatoquer...
4	Lopez	Cineros	Eduardo	LPC049309JW1	LCE7845095SL...	lasmomasde...

Figura 9.- Interfaz de búsqueda.

En la figura 10 nos proporciona la información de mejora en cuestión al tiempo de captura de contratos, claves, asignaciones y búsqueda, actualmente son capturadas en papel a mano ocupando mucho tiempo aproximadamente 66 horas, y de búsqueda 14 horas, con el sistema optimizan el tiempo a 2 horas de captura.

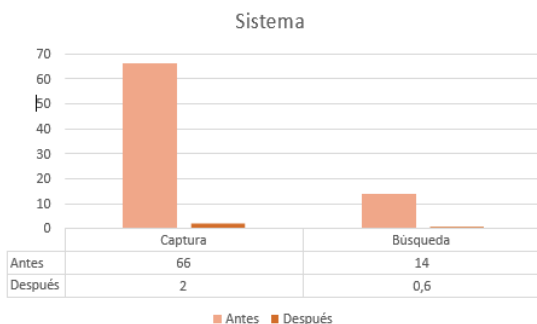


Figura 10. Comparativa de captura de contratos y búsqueda

Por último, en la figura 11 se muestra la eficiencia con respecto a los procesos internos antes y después del sistema mejorando en un 90% lo que provoca una mejor administración y servicio para los docentes cuando necesitan información relevante de sus contratos, pagos, ver sus horas que tienen y sus claves presupuestales.

Eficiencia de servicio

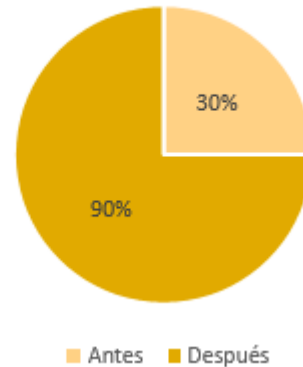


Figura 11. Gráfica de eficiencia de servicio.

CONCLUSIÓN

En conclusión, la vinculación en la educación superior ha adquirido una gran importancia al permitir a los estudiantes aplicar sus habilidades y conocimientos en proyectos reales. En este caso particular, se desarrolló un sistema de optimización de procesos internos en el departamento de recursos humanos, que logró recopilar información de diferentes áreas de la institución, mejorando la comunicación y reduciendo los tiempos de entrega de reportes. Este proyecto demuestra la importancia de adquirir habilidades complementarias durante la formación académica, lo cual prepara a los estudiantes para un desempeño exitoso en el ámbito laboral. La experiencia adquirida en proyectos como este contribuye al desarrollo integral de los estudiantes y les brinda una ventaja competitiva al enfrentarse a los desafíos del mundo laboral. En resumen, la vinculación en la educación superior fortalece la formación de los estudiantes y les permite aplicar sus habilidades en proyectos reales, enriqueciendo su experiencia y preparándolos para su futuro profesional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. Ceballos, F. (2004). Enciclopedia del lenguaje. México: Alfaomega/Rama.
- [2]. Pressman, R. S. (2010). Ingeniería de Software - Enfoque Práctico. México: Mc Graw Hill.



- [3]. Microsoft. (22 de septiembre de 2022). Microsoft Learn. Obtenido de <https://learn.microsoft.com/es-es/dotnet/csharp/tour-of-csharp/>
- [4] Raygada, A. A. (27 de octubre de 2004). El guille. Obtenido de https://www.elguille.info/colabora/puntonet/aarroyo_sharpdevelop.htm
- [5] Oracle. (2023). Oracle. Obtenido de <https://www.oracle.com/mx/database/what-is-database/>
- [6] Robledano, A. (2019 de septiembre de 2019). OpenWebinars. Obtenido de <https://openwebinars.net/blog/que-es-mysql/>
- [7] Martín Escofet, C. (2002). El lenguaje SQL. Barcelona: Digitalia Hispánica.
- [8] GoDaddy, E. e. (04 de 10 de 2019). [godaddy.com.mx](https://www.godaddy.com.mx). Obtenido de <https://mx.godaddy.com/blog/que-es-un-sitio->
- [9] B., G. (01 de 02 de 2023). Obtenido de Tutoriales Hostinger. Obtenido de <https://www.hostinger.mx/tutoriales/que-es-un-hosting>
- [10] Pressman, R. S. (2010). Ingeniería de software, un enfoque práctico. McGraw Hill.
- [11] García, M. (30 de 05 de 2020). Que es Xampp y como usarlo. Obtenido de Nettix Perú:

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Alexis Lemus Ogaz: Estudiante de la carrera en Ingeniería en Sistemas Computacionales.

Juan Carlos Rodríguez Campos: Ingeniero en Sistemas Computacionales egresado del Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, Maestro en Ciencias de la Educación egresado CAJEME, Sonora, Doctorado en Educación egresado UNICLA.

Mariana Rico Chagollán: Ingeniero en Sistemas Computacionales egresado del Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, Maestro en Educación egresado de la Universidad Virtual de Guanajuato.

Gabriela Vidal Ortiz: Licenciada en Educación egresada de la Escuela Normal Oficial Irapuato, Maestra en Educación de la Universidad Benemérita y Centenaria Escuela Normal Oficial de Guanajuato, Doctorado en Educación egresado UNICLA.

Carlos Alberto Corona Razo: Estudiante de la carrera en Ingeniería en Sistemas Computacionales.





Diseño de un sistema automático de medición de flujo de granos pequeños

*Martín Dario Castillo Sánchez, María de Jesús Velázquez Vázquez, Abraham Rodríguez Galeote**

RESUMEN

En el presente trabajo se desarrolla un sistema automático experimental de medición de flujo volumétrico de grano de arroz controlado mediante una interfaz digital. El sistema controla la variación de volumen del producto ensilado, para proveer el flujo volumétrico deseado mediante un dispositivo de apertura y cierre controlado electrónicamente. El control del flujo se basa en la caracterización del comportamiento dinámico del grano, el cual se modela como un flujo de fluido. El sistema cuenta con una interfaz hombre-máquina, la cual proporciona información del proceso como el tipo de grano y el flujo a manejar o despachar. La interfaz lleva a cabo la interrelación del comportamiento dinámico del grano, el control automático del dispositivo y el procesamiento de datos, para proveer el flujo volumétrico requerido. El sistema es experimental para medición y dosificación de grano de arroz y se compone de un modelo a escala con una capacidad de 70 kilogramos.

ABSTRACT

In the present work, an automatic system for measuring the volumetric flow of grain controlled by means of a digital interface is developed. The system controls the volume variation of the ensiled product, to provide the desired volumetric flow through an electronically controlled opening and closing device. Flow control is based on the characterization of the dynamic behavior of the grain, which is modeled as a fluid flow. The system has a man-machine interface, which provides process information such as the type of grain and the flow to be handled or dispatched. The interface carries out the interrelation of the dynamic behavior of the grain, the automatic control of the device and the data processing, to provide the required volumetric flow. The grain measurement and dosing system consists of a scale model with a capacity of 70 kilograms.

Palabras claves: Controlador, interfaz, medio granular, medidor de flujo.

INTRODUCCIÓN

Aunque no ha sido fácil la inserción de nuevas tecnologías en la agricultura, se aprecia una creciente penetración de ellas especialmente en el manejo de productos a granel. La demanda por

productos con calidad, por un lado, y la exigencia de la trazabilidad, por otro, han convertido a la tecnología en un elemento clave para el manejo de cualquier proceso. Un proceso que es de vital importancia en las áreas portuarias en el abastecimiento de granos, es la agilización en el manejo del material granular de los lugares de abastos, debido a que actualmente el proceso de dosificación requiere una gran cantidad de procesos y recursos, lo que da origen a altos costos. Por lo comentado anteriormente, el ámbito agroindustrial requiere de procesos automatizados en línea capaces de optimizar los procesos con el beneficio económico que implica la reducción de costos. El proceso actual de suministro a furgones, cisternas, camiones e incluso bultos, se hace al tanteo, el traslado pasado se realiza alejado de la salida del producto, por lo que es vital e imprescindible realizar un sistema medidor de flujo. Esta ventaja se traducirá en un proceso con mayor orientación y manejo hacia el usuario. Por lo tanto, el diseño de este sistema automático de dosificación de grano va enfocado a satisfacer la necesidad de distribuir material granular en una forma continua en línea, de esta forma poder hacer más eficiente el proceso de medición actual de las zonas portuarias, de la industria de almacenamiento, también de distribución de material granular, el objetivo es desarrollar un sistema automático experimental de dosificación y medición de flujo volumétrico de grano de arroz en línea, capaz de cuantificar el flujo de forma automática, con la ayuda de un dispositivo de apertura y cierre controlado electrónicamente, a fin de eliminar el proceso de pesaje mediante básculas.

CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS GRANULARES

Un medio granular se puede definir como un conjunto de partículas, similares entre sí, que interactúan de un modo disipativo. El tamaño de las partículas que conforman un medio granular puede abarcar varios órdenes de magnitud: desde el orden del milímetro (granos de arena y arroz) hasta el orden del metro (coches y rocas). A los sistemas de partículas de tamaño menor que 0.3 mm se les llama "polvos", y tienen propiedades específicas. Las más notables provienen del hecho de que algunas fuerzas de contacto (debidas, por ejemplo, a la humedad o a la carga electrostática) comienzan a ser de magnitud comparable al peso de los granos. Por eso, muchos polvos tienen un comportamiento gobernado por fuerzas cohesivas. A los sistemas de partículas intermedias los consideramos como medios granulares "secos", no cohesivos: las únicas fuerzas relevantes son las inerciales y a veces un campo externo (la gravedad). En el límite superior, no se considera como un "medio granular" a sistemas de partículas cuyo tamaño sea mayor que varios metros, debido a que en el

* Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Zacatenco, Departamento de Mecánica, Dr. Martín Dario Castillo Sánchez, C Dr. María de Jesús Velázquez Vázquez, Ing. Juan Daniel Rivas Martínez, Correo electrónico: avinfer@hotmail.com





laboratorio sería difícil reunir el número de elementos suficientes para observar fenómenos colectivos. Sin embargo, en la naturaleza se dan algunas de esas agrupaciones: por poner un caso, los anillos de los planetas pueden considerarse un medio granular.

DENSIDAD

El tamaño de la partícula es una de las características más importantes de un elemento granular. Un problema importante es la distribución de las partículas que afectan la fluidez de los elementos granulares. Otro problema es la densidad, ya que los granos son compresibles; la densidad global es referida a especificaciones adicionales como: pérdida de densidad global, densidad global de compactación por golpeo, o densidad global compactada.

ÁNGULO DE REPOSO

En la mayoría de los procesos industriales se manejan productos pulverulentos cuya granulometría oscila entre amplios valores. La forma más fácil de conocer la fluidez de un elemento granular es la medida del ángulo de reposo. Los sólidos particulados, como los líquidos, fluyen; si vertemos un líquido sobre un vaso observaremos que termina alcanzando el reposo con una superficie libre horizontal (despreciando la ligera curvatura debida a la tensión superficial). Si repetimos el experimento con un polvo, harina, por ejemplo, observaremos que el reposo se alcanza con una protuberancia superficial cónica como se observa en la figura 1a. El ángulo que forma la superficie lateral del cono con la horizontal es distinto en los diferentes sólidos y se conoce como “ángulo de reposo” (véase figura 1b). De forma ordinaria, son iguales el ángulo de reposo del producto escurrido (figura 1b) a que el del producto vertido (figura 1c). Toda partícula que caiga fuera de la pendiente en cuestión se deslizará hacia abajo. En la superficie, y por debajo de ella, las partículas se encuentran en equilibrio: la tracción gravitacional se ve contrarrestada por la interacción entre las partículas; el ángulo de reposo del grano tiene por tanto un significado similar al del valor de deformación plástica.



Figura 1a. Ángulos de reposo del producto vertido

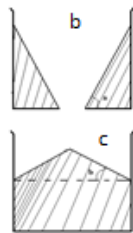


Figura 1b y 1c. Ángulos de reposo del producto drenado y vertido (b)

En la tabla 1, se observan los ángulos de reposo de diversos alimentos; es de hacer notar que se ven afectados por la densidad,

el tamaño, la distribución por tamaños y las características superficiales de las partículas.

Tabla 1. Ángulo de reposo de varios alimentos granulares, Ravenet (19779.)

Granos	θ	Granos	θ
Arroz	20	Azúcar granulado	35
Maíz	21	Chocolate en polvo	40
Cebada	23	Harina	45

Por lo tanto, se afirma que con un ángulo mayor al de reposo, habrá mayor libertad en el flujo del elemento granular. Donde una regla empírica Ravenet (1977), es: elementos granulares con ángulo de reposo menor de 40° fluirán libremente mientras que elementos granulares con ángulos de 50° o más tendrán problemas de flujo.

PRESIONES EN EL MEDIO GRANULAR

Ya en 1852, Hagen advirtió que, como consecuencia inmediata de la ley de Coulomb, la presión en el fondo de un contenedor lleno de arena no depende de la altura del mismo. Esto se debe al efecto de formación de arcos que transmiten las fuerzas a las paredes de tal forma que las capas inferiores no soportan todo el peso de las superiores, como se observa en la figura 2. Cabe destacar que esta independencia se observa a partir de cierta altura de la columna granular teniendo en cuenta el ancho del contenedor y las propiedades del material. El primero en formular matemáticamente este fenómeno fue Janssen (1895). Su análisis fue de gran importancia ya que la mayoría de los países lo han utilizado en sus códigos de procedimiento para diseños de silos. Más aún, los manuales actuales traen correcciones empíricas a las aproximaciones hechas por Janssen. A continuación, se presenta el análisis original de Janssen. Considérese un recipiente cilíndrico que contiene un medio granular no cohesivo, Parisi (2000).

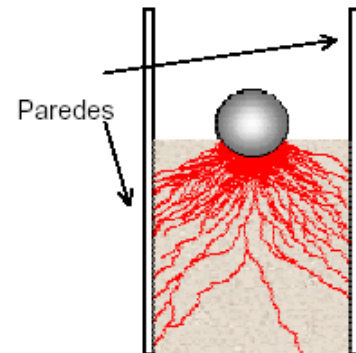


Figura 2. Corte transversal de un cilindro con un material granular.

En rojo se ve la distribución de las fuerzas.

- Las tensiones son uniformes a lo largo de cualquier sección horizontal del material.



- b) Las componentes vertical y horizontal del tensor de tensiones son las principales.

Ciertamente, estas dos suposiciones son idealizaciones que no se corresponden con la realidad. Varios autores han realizado correcciones a estos postulados, como por ejemplo Walker (1966), Zurigel (2013). Sin embargo, los resultados de Janssen han sido de gran utilidad. Considérese un balance de fuerzas sobre una sección transversal del lecho granular, ubicado a una profundidad z , como se muestra en la figura 3. El elemento dibujado está sometido a una fuerza hacia abajo $A\delta z$ y a otra fuerza hacia arriba $A(\delta z + d\delta z)$, considerando la hipótesis 1, donde A es el área de la sección transversal del cilindro. Si ρ_m es la densidad del material granular y g la aceleración de la gravedad, el peso del material en esa franja es $g\rho_m A dz$ y por último hay una fuerza hacia arriba debido al rozamiento con las paredes $\pi D dz \tau_p$.

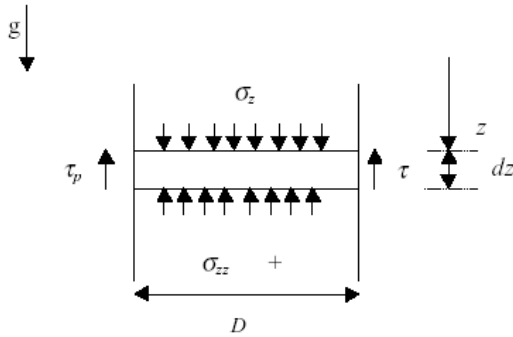


Figura 3. Tensiones en un elemento cilíndrico

El balance de fuerzas resulta (Ecuación 1):

$$\frac{\pi D^2}{4} \sigma_z + \frac{\pi D^2}{4} g\rho_m dz = \frac{\pi D^2}{4} (\sigma_z + d\sigma_z) + \pi D dz \tau_p \quad (1)$$

Tomando el límite cuando dz tiende a cero, se tiene ecuación 2:

$$\frac{d\sigma_z}{dz} + \frac{4\tau_p}{D} - g\rho_m = 0 \quad (2)$$

Dado que el material es no cohesivo se puede escribir la ecuación 3.

$$\tau_p = \mu_p \sigma_r \quad (3)$$

Donde μ_p es el coeficiente de fricción interna entre el material y la pared, tenemos la ecuación 4:

$$\sigma_r = K\sigma_z \quad (4)$$

Donde K es conocida como la constante de Janssen. Substituyendo la ecuación (1) y (2) en la ecuación (3), se obtiene la ecuación 5.

$$\frac{d\sigma_z}{dz} + \frac{4\mu_p K}{D} \sigma_z = g\rho_m \quad (5)$$

Teniendo en cuenta que a $z=0$, la tensión es nula (superficie libre), la solución para esta ecuación diferencial ordinaria de primer orden se muestra en la ecuación 6.

$$\sigma_z = \frac{g\rho_m D}{4\mu_p K} \left[1 - \exp\left(-\frac{4\mu_p K z}{D}\right) \right] \quad (6)$$

Lo cual evidencia que la componente del tensor δ_{zz} tiende a un valor asintótico a medida que aumenta z , diferenciando a los medios granulares de los líquidos donde la presión crece linealmente con la profundidad (hidrostáticamente). Considerando las ecuaciones (5) y (6) se observa que también δ_{rr} y τ_p tienen un comportamiento asintótico. El valor asintótico de la tensión vertical a profundidades grandes (σ_{zz}^∞) depende de las propiedades del material, del diámetro del cilindro y de K , que varía según se trate del caso pasivo o activo. Para un material granular típico δ_{zz} alcanza su valor asintótico para z entre $0.2D$ (pasivo) y $2D$ (activo).

CAUDAL

Si $N(t)$ es el número de partículas que salen del silo en función del tiempo, se define el caudal como, ecuación 7.

$$Q = \frac{dN(t)}{dt} \quad (7)$$

A diferencia de lo que ocurre en el caso de los líquidos, en sistemas granulares el caudal es independiente de la altura de la columna. Esto ocurre cuando la presión en la boca del silo ha alcanzado su valor asintótico. Otra posible causa puede ser que las paredes inclinadas de la zona cónica del silo soporten el peso del material a través de arcos dinámicos que transmiten las presiones a dichas paredes, manteniendo la presión en el orificio de salida constante. La ecuación 8, define el caudal en la zona donde Q es constante. Se ha verificado experimentalmente, Ferreira (2000), que el caudal en un silo 3-D (ecuación 8), es proporcional a,

$$Q \approx n_p \sqrt{g} (d - cr)^{2.5} = B(d - cr)^{2.5} \quad (8)$$

Donde n_p es el número de partículas por unidad de volumen, d el diámetro del orificio de salida del silo, r el radio medio de las partículas y c un factor adimensional que permite considerar que



una fracción del orificio de salida no es utilizada, corrigiendo al diámetro real del mismo por uno efectivo ($d-cr$). En el caso 2-D el exponente 2.5 debe ser reemplazado por 1.5. Cabe notar que la funcionalidad de la expresión de Beverloo surge simplemente de consideraciones dimensionales del sistema.

MEDIDOR TIPO TURBINA

Los elementos mecánicos de vaciado no son más que un sistema de control para la extracción del material almacenado en silos, tolvas y celdas. Los extractores han de considerarse como un elemento más en el sistema celda-mecanismo de extracción. Por tanto, las celdas han de estar diseñadas para vaciarse por gravedad con un flujo másico. La turbina Pelton fue creada y patentada en 1889 por el norteamericano Lester Allan Pelton. El principio de funcionamiento es relativamente simple, ya que constituye una evolución lógica de la antigua rueda hidráulica. Son notables su suavidad de giro y su buen funcionamiento a carga parcial.

SENSORES DE NIVEL

Otra área de interés en el desarrollo del prototipo es el poder medir la altura del grano contenido dentro del silo, para poder así sacar una relación de presión y altura, como se muestra en la figura 4. Se han encontrado varios tipos de sensores de nivel en el mercado, los cuales son equipos de radar que pueden llegar a censar hasta 70 metros de profundidad. Los cuales se muestran en la figura 5.



Figura 4. Sensor de nivel



Figura 5. Sensores de nivel tipo radar.

Se debería de tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Reflexión del grano
- Tipo de señal a ocupar, puede ser por ondas sonoras de alta frecuencia entre el rango de 20 a 40 Hz.

El funcionamiento de este medidor es por ondas de alta frecuencia en el rango de 20 a 40 KHz que se propagan por la fase gas hasta que chocan con el sólido (grano), se reflejan y alcanzan el receptor situado en el mismo punto que el emisor. El tiempo entre la emisión de la onda y la recepción del eco es inversamente proporcional al nivel, Rein (2016).

DESARROLLO

La interfaz hombre-máquina está constituida por la construcción de un panel de control, así como de la programación para poder controlar al sistema, es decir tener un control logístico y algebraico de todo el proceso. Se empezará mencionando que el instrumento para ser programado es un microcontrolador AVR de ATMEL®, esto por ser económicos y con un set de instrucciones reducidas. Con el propósito de controlar el teclado y un LCD de 4x16 (4 líneas de 16 caracteres) se optó por escoger al microcontrolador ATMEGA8535. El software para la programación de este microcontrolador es realizado a través de CODEVISION AVR®, que es un compilador del lenguaje C; el cual dio como resultado una programación más eficiente y eficaz, debido a que se necesitaba realizar demasiadas operaciones algebraicas que en lenguaje ensamblador serían un poco difícil de realizar.

CONFIGURACIÓN DE TECLADO Y LCD

En el dispositivo de entrada funciona de la siguiente manera: Desde el punto de vista eléctrico, cada tecla es un mecanismo idéntico a un pulsador. La aportación de este componente consiste en la configuración de las teclas para que necesiten pocas líneas de entradas en la detección de la que se ha presionado, como se observa en la figura 6. Para disminuir las líneas necesarias para detectar la que fue pulsada, éstas se agrupan de forma matricial en filas y columnas. Con esta configuración, un arreglo matricial de 12 teclas solo necesita 7 líneas del AVR para llevar a cabo la realización de su trabajo. Si cada una de las mismas actuase como un pulsador individual se necesitarían 12 líneas de E/S del microcontrolador para gestionarlas.

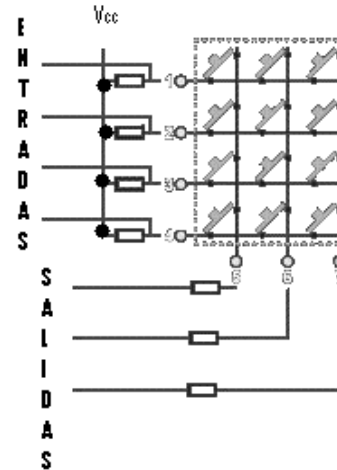


Figura 6. Teclado

En la figura 6 se muestran las cuatro líneas de entradas que serán las que reciban los niveles lógicos que tienen las filas del teclado y las tres líneas de salidas a las que se les aplicará un patrón lógico (0 o 5 volt), a las tres columnas del teclado.



CANTIDAD DE MASA A DESPACHAR

El proceso de la cantidad de masa despachándose consiste en la activación de los sensores, apertura de la válvula, para que dé inicio al vaciado, y el cálculo aproximado de la cantidad de masa que se está despachando.

SENSOR DE PRESIÓN

La finalidad de trabajar con un sensor de presión es poder medir las variaciones de presión del grano contenido en el silo, pero existe el siguiente problema, el sensor es un transductor de presión para gases o líquidos, por lo que es necesario sacar una curva característica de trabajo del sensor, presión contra corriente eléctrica, utilizando ya sea un líquido, agua o un gas. Con la curva característica esperamos lograr la relación vs presión del grano con la corriente que se mide con un multímetro y la tarjeta de adquisición de datos de Texas Instruments®, esta está en conjunto con el software Labview 7.0®. Por lo que fue necesario realizar varios acoplamientos entre el sensor y el grano, utilizando una membrana de diferentes materiales, estas fueron hechas de espuma de poliuretano, caucho y aluminio. Cabe mencionar que el sensor funcionó en forma adecuada para líquido y gas, pero con el grano no se logró un funcionamiento aceptable. El sensor de presión PMC 131 A32F1A2S, el cual se muestra en la figura 7, es un transductor de presión, que mide presiones absolutas y manométricas de gases, vapor y líquidos. Convirtiendo la entrada de presión de 0 a 1 Mpa en una salida eléctrica de 4 a 20 mA. Se realizaron varios experimentos para tratar de censar la presión del grano. Pero como se mencionó anteriormente el grano produce bóvedas que amortiguan y desvían las presiones a los costados del silo, esto cuando el grano está en forma estática, además que se producen zonas de reposo en los costados del silo, cuando el grano está en forma dinámica. Estos fenómenos ocasionaron que se lograra cuantificar una curva característica del grano junto con el sensor.

DISPOSITIVO DE NIVEL

El sensor de altura consiste en un medidor ultrasónico de distancias de bajo costo desarrollado por la firma DEVANTECH Ltd®. El módulo SRF05 trabaja en el rango de medida de 1.7 cm a 4.5 metros, que se muestra en la figura 8. Dispone de un modo de operación que se selecciona simplemente conectando el pin “Mode” (Modoo) a GND. Dicho modo permite al SRF05 emplear un único pin de E/S que sirve tanto para dar la orden de inicio o disparo, como para obtener a la medida realizada (ECO). Cuando el pin de “Modo” no se emplea y se deja sin conectar, el SRF05 trabaja de la manera siguiente: la señal de disparo y la salida de ECO se realizan por pines diferentes.

DISPOSITIVO MAGNÉTICO

El sensor magnético que ocupamos para medir las r.p.m. en la turbina es el US5881 que es un switch unipolar de efecto hall-de baja sensibilidad. El cual opera con un voltaje de 3.5 a 24 Volts, en nuestro caso está funcionando con 5V, cabe mencionar que es tecnología CMOS y cuenta con un disparador de pulsos el cual envía una señal cuadrada, estamos aplicándolo en su modalidad,

switch de estado sólido. El funcionamiento eléctrico se muestra en la figura 9 y los pines del CMOS son: pin “1”, voltaje de alimentación, pin “2” la tierra y el pin “3” es la salida.



Figura 7. Transductor de presión

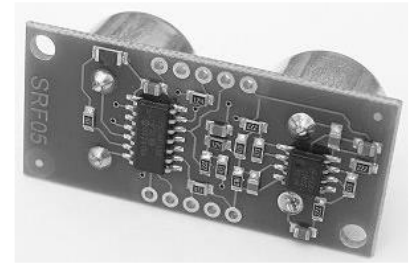


Figura 8. Sensor de altura ultrasónico SRF05

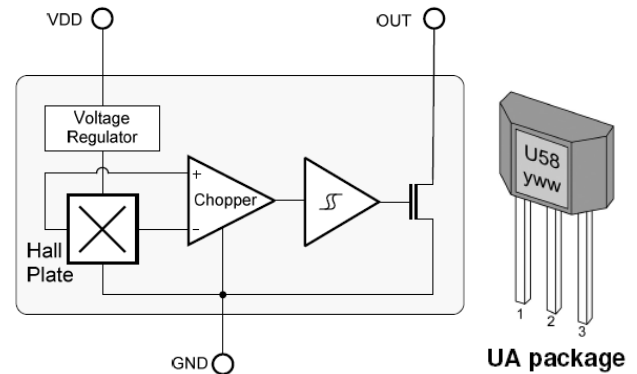


Figura 9. Diagrama Funcional del REDD SWITCH

Se armó la siguiente conexión electrónica, mostrada en la Figura 10. Fue tomada de la hoja de especificaciones de dicho sensor.

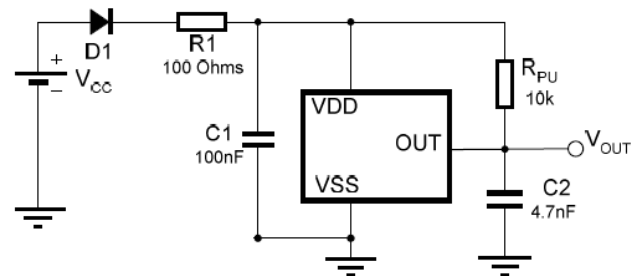


Figura10. Circuito para el sensor para evitar ruido y regreso de corriente

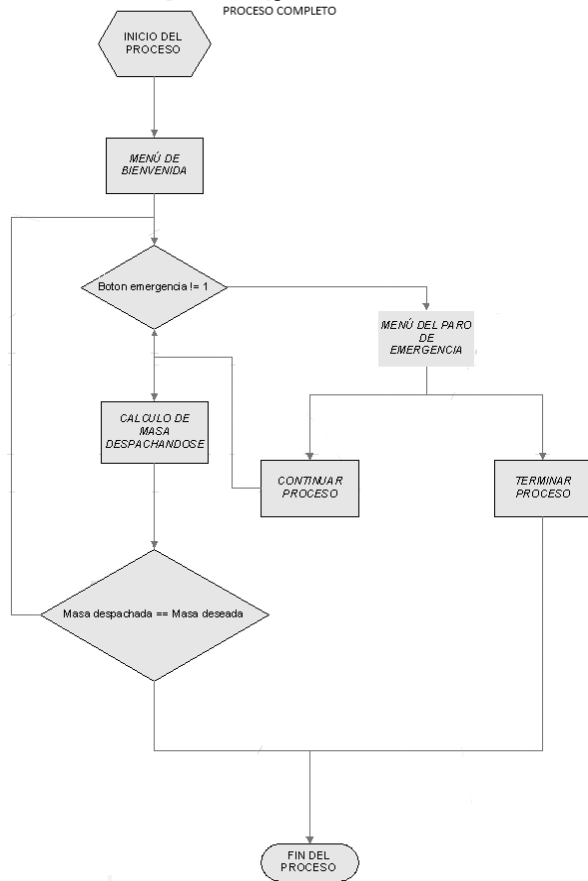
Para la operación apropiada, se recomienda colocar un condensador cerámico de 100nF tan cerca como sea posible al



dispositivo entre el VDD y el pin de tierra. Para la protección del voltaje reverso, se recomienda conectar una resistencia en serie con el pin de VDD.

DISEÑO MECANICO ENSAMBLE

Sistema Medidor de Flujo de Grano



DISPOSITIVO MEDIDOR DE FLUJO GRANULAR

Con el medidor de flujo de grano se obtiene una cuantificación aproximada de la velocidad de salida del mismo, debido a la separación entre la boquilla de salida y los álabes de la turbina que es mínima, este espacio que ocupa el arroz al tener contacto con los álabes de la turbina, para producir el movimiento de esta, es de 5.7cm aproximadamente. El movimiento producido se aproxima a la velocidad angular de la turbina para poder calcular así la cantidad de flujo de grano que está saliendo por un determinado periodo de tiempo, con la ayuda del microcontrolador y su programación de control.

El número de álabes requeridos para la turbina se seleccionó mediante la experimentación con el objetivo de tener un buen desempeño al ser impulsada por el flujo de arroz.

Finalmente se optó por reducir su número, dejando solo seis repartidos cada 60°, en la circunferencia que utilizamos como núcleo, quedando como se muestra en la figura 11.

La forma de censado de las vueltas de la turbina es por medio de varios imanes colocados en cada álabe, para así interactuar con el sensor de efecto hall, posicionado en el marco de la turbina. De esta forma se consigue hacer el conteo de cuantas vueltas está realizando la turbina en un determinado periodo de tiempo con una buena resolución. Los datos medidos se validaron con la utilización de un tacómetro de la marca DT-2236®, al observar que la desviación de uno con otro fue de 5 r.p.m.

DISEÑO DE LA COMPUERTA

La construcción de la compuerta está realizada en base al diámetro de salida de la tolva por lo que se construyó con un diámetro de 5.7 cm y consta de dos partes cilíndricas barrenadas en sus caras laterales por un rectángulo respectivamente, este barrenado tiene el propósito de contener el dispositivo mecánico hecho de acrílico encargado del paso del grano. Como se observa en la figura 12.

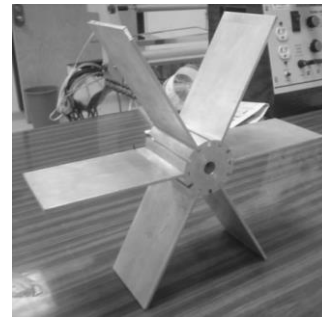


Figura 11. Turbina Pelton de 6 álabes

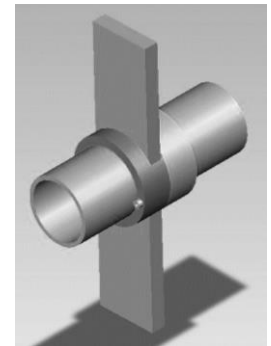


Figura 12. Dibujo de la compuerta

La caída del flujo de grano es controlada por un pistón neumático de la serie BD-1 1/2-4.33" P de la firma GUSS & ROCH®, como se muestra en la figura 13.

El cual es activado electrónicamente por un solenoide piloto de la serie GKG-5/2-1/4-Z de la firma GUSS & ROCH®. Conjuntamente realizan el trabajo de abrir o cerrar el paso del grano hacia la turbina. El pistón se encarga de cerrar y abrir la compuerta mediante la admisión y expulsión de aire, para calcular la fuerza del avance del pistón y la cantidad de presión requerida se realizaron algunos cálculos. El solenoide piloto se alimenta con 120V y es disparado por pulsos provenientes del microcontrolador, para conmutar el avance del émbolo. El sistema finalmente en conjunto queda como se muestra en la figura 14.

Analizando los diámetros de las salidas y en base a la teoría de construcción de silos se observó que los diámetros de las boquillas de los conos calculadas a escala están fuera de las medidas recomendadas por la bibliografía 0.02m y 0.03m, para solucionarlo se hizo la relación geométrica tomando en cuenta los diámetros de



entrada y salida del silo real obteniendo una constante que se muestra en la ecuación 9.



Figura 13. Pistón Neumático



Figura 14. Ensamblaje del sistema medidor de flujo de grano.

$$\frac{D_{mayor}}{D_{menor}} = \frac{2.5m}{0.3m} = 8.33 \quad (9)$$

Con la constante calculamos el diámetro menor para el diseño del prototipo a escala, en el cual se propone el diámetro mayor que en este caso es de 0.5 metros; de esta manera se obtiene una relación del escalamiento del silo al prototipo que se pretende realizar, como se muestra en la ecuación 10.

$$D_{menor} = \frac{D_{mayor}}{8.33} = \frac{0.5}{8.33} = 0.06m \quad (10)$$

La altura del prototipo es de 1.24 metros, posteriormente se tratará de realizar un escalamiento aplicado en el prototipo con relación a las condiciones del silo real.

El ángulo que forman la mayoría de los granos es de aproximadamente 27°. Los granos húmedos o el grano muy pequeño producen pendientes ligeramente más planas. La tolva de descarga en la parte inferior del silo debe tener forma cónica con pendiente mayor al ángulo de reposo, en caso contrario, no se presenta el deslizamiento del grano. Los depósitos más pequeños necesitan pendientes mayores a causa de la fricción que se presenta en los extremos de la tolva.

Con los diámetros calculados en base a la constante, determinamos el ángulo del cono de 45° de inclinación con lo cual se logra un deslizamiento eficaz de los granos en nuestro caso del arroz.

De acuerdo a la información presentada anteriormente y descartando los primeros escalamientos, las medidas del prototipo de silo se muestran en la Figura 15.

CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA SOPORTE

Formada por cuatro pilares de 2m de altura en la cota .60cm y 1m se construyó un entramado de barras de acero para dar soporte al silo. La estructura ha de soportar las cargas verticales debidas al peso de la estructura, peso propio del silo (cuerpo y tolva), peso del producto almacenado y la turbina. Una de las partes más importantes del dispositivo es el diseño del circuito que va a controlar el vaciado del silo, es decir la interfaz-humana, figura 19.

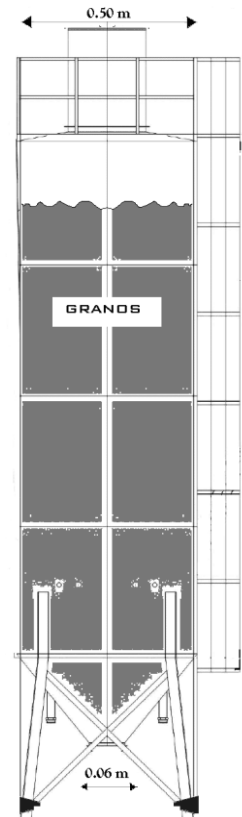


Figura 15. Medidas del silo tomando en cuenta la relación de diámetros

CONTROL ELECTRÓNICO

Como se planteó en el proyecto, esta parte mostrará en un LCD las instrucciones a seguir para poder llevar a cabo el vaciado, ingresar la cantidad de masa a despachar y mostrar las fases del proceso de vaciado tales como: altura del grano contenido en el silo y las revoluciones a las cuales gira el dispositivo medidor de flujo de grano. Para esto se diseñó el circuito colocado en un diagrama impreso que se muestra en la parte inferior, el cual fue hecho utilizando el Software de Express PCB, figura 17.

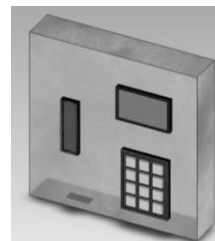


Figura 16. Dibujo del panel de control

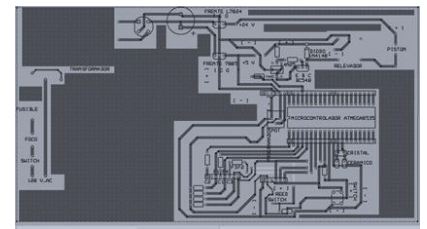


Figura 17. Diagrama del impreso del panel de control



El circuito está compuesto por el programador de AVR's que ayudara a corregir posibles fallos en el programa o para actualizaciones futuras del software, así como los demás segmentos importantes que hacen que funcione correctamente el programa:

- Sensor SRF05, el cual censa la altura de llenado y vaciado del silo.
- Pistón neumático y electroválvula que controla la salida y contención del grano.

El circuito eléctrico de control se muestra en la figura 18, en su etapa Terminal.

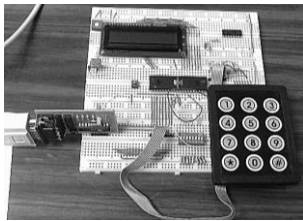


Figura 18a. Circuito del panel de control en protoboard



Figura 18b. Panel de control

Esquema de las partes del proyecto

La realización final del proyecto físicamente se observa en la figura 19.



Figura 19. Armado final

CONCLUSIONES

Este prototipo experimental busca ofrecer una ventaja sobre los actuales métodos existentes en el mercado, que realizan la medición repetitiva utilizando básculas, debido a que realiza la medición del flujo volumétrico de grano en línea, es decir, el dispositivo entrega la cantidad de grano que se le haya especificado, por medio de la interfaz hombre-máquina, de una forma rápida, confiable y versátil. Cabe mencionar que por la simplicidad del dispositivo es posible expandir más de una medición en línea, todo controlado por un sistema central.

En la realización del prototipo se llevaron a cabo varios experimentos en los cuales se observó que el chorro de arroz no era muy compacto o uniforme, lo que no producía un flujo de salida homogéneo porque en la boquilla de la tolva se produce una turbulencia, debido al choque de las partículas de arroz, por este motivo es que se colocó un tubo en el interior de la boquilla del silo para uniformizar la salida del chorro de arroz, esto permite que no haya una gran dispersión de los granos a la salida, siendo ésta un poco más compacta. Cabe mencionar que esto se hizo para poder uniformizar la salida del flujo, ya que en el área de salida de grano tenía pequeñas variaciones.

Se debe de mencionar que el prototipo experimental funciona con un error del 5%, esto posiblemente al tiempo de abertura y cierre de nuestra compuerta, y de la distancia a la que está colocado el medidor tipo turbina de la salida del silo.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- Ravenet Juan (1977). SILOS. Flujo de vaciado de sólidos. Formación de bóvedas. Efectos. Ed. Editores Técnicos Asociados, S.A. España.
- Ravenet Juan (1979). SILOS. Teoría investigación y construcción. Ed. Editores Técnicos Asociados, S.A. España.
- Parisi Daniel R. (2000). "Simulación de Reactores Sólido – Gas" Tesis de Doctorado en Cotutela. Universidad de Valencia, España.
- Zuriguél Ballaz Iker D. (2013). "Flujo y atascos de un medio granular en la descarga de silos" Tesis de Doctorado en Física. Universidad de Navarra. España.
- Ferreira L, Flores J. Solovey (2000). "Oscilador de Masa Variable" Estudio y aplicación de medios granulares. Universidad de Buenos Aires. Argentina.
- Rein Soto Guillermo –Yarritu, de Andrés Martínez Ángel. (2016). "Simulación Numérica de Transporte de Material Granular por Vibración". Universidad Pontificia de Comillas Madrid. España.

INFORMACIÓN ACADÉMICA

María de Jesús Velázquez Vázquez: Licenciada en Economía por la Escuela Superior de Economía del Instituto Politécnico Nacional, Maestría en ciencias en educación y especialista en finanzas, Candidata a Doctor en Ciencias en Ingeniería de Sistemas por la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la ESIME Zacatenco, profesora investigadora de tiempo completo y exclusivo en el IPN.



Abraham Rodríguez Galeote: Ingeniero Mecánico egresado de la Escuela superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional, Maestría en Ingeniería Mecánica en diseño mecánico, por la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la ESIME Zacatenco, profesor investigador de tiempo completo y exclusivo en el IPN.

Martín Darío Castillo Sánchez: Ingeniero Mecánico egresado de la Escuela superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional, Maestría en Ingeniería Mecánica en diseño mecánico, por la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la ESIME Zacatenco, Doctorado en ciencias en ingeniería mecánica por la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la ESIME Zacatenco, profesor investigador de tiempo completo y exclusivo en el IPN.





Implementación de una red EtherNet/IP mediante el uso del protocolo industrial común de movimiento

Ivone Cecilia Torres Rodríguez¹, Pedro Francisco Huerta González², René Tolentino Eslava³

RESUMEN

En este trabajo se realiza la implementación del protocolo industrial común de movimiento sobre una red EtherNet/IP, ya que en la industria el control de movimiento de varios ejes generalmente utiliza sincronización basada en eventos, lo que requiere una entrega absoluta y programada de datos cíclicos críticos en el tiempo a través de la red. Para ello, en primer lugar, se realizó la integración de los dispositivos necesarios dentro de un sistema de control de movimiento, en base a diagramas de conexión y de distribución del sistema, a partir de eso, se realizan las configuraciones necesarias tanto de la arquitectura de conexión de los dispositivos, como de la configuración de cada uno de ellos para que puedan anexarse a la red EtherNet/IP y realizar la programación del sistema de control de movimiento. Por último, se realizan las pruebas físicas y de comunicación para corroborar que no se presenten fallas de funcionamiento. Dentro de estas pruebas se puede comprobar la funcionalidad del switch administrable, en donde a cada puerto se le asigna el dispositivo que se va a conectar dándole la prioridad en relación a la operación de cada nodo.

ABSTRACT

In this work, the implementation of the common industrial protocol of motion over an EtherNet/IP network is carried out, since in the industry the motion control of several axes generally uses event-based synchronization, which requires an absolute and programmed delivery of cyclical data. time-critical over the network. For this, in the first place, the integration of the necessary devices within a movement control system was carried out, based on connection and distribution diagrams of the system, from that, the necessary configurations of both the architecture and the connection of the devices, as well as the configuration of each one of them so that they can be attached to the EtherNet/IP network and carry out the programming of the movement control system. Finally, the physical and communication tests are carried out to verify that there are no malfunctions. Within these tests, the functionality of the manageable switch can be verified, where each

port is assigned the device to be connected, giving it priority in relation to the operation of each node.

Palabras claves: CIP Motion, Protocolo industrial, Servodrive, Servomotores.

INTRODUCCIÓN

En la industria moderna, las comunicaciones industriales son cada vez más indispensables, ya que los dispositivos necesitan transferir información de manera segura, rápida, eficiente, veloz y manejando en ciertas etapas del proceso una cantidad elevada de datos, es debida a esta necesidad que surge el Protocolo Industrial Común (CIP) motion (ODVA, 2021).

Actualmente son pocas las industrias que conocen y manejan el término de CIP Motion debido a que es una tecnología nueva, no obstante, es una herramienta útil e importante para el control de movimiento industrial, ya que ayuda a tener un proceso de alto rendimiento (ODVA, 2019).

El Protocolo Industrial Común es un protocolo desarrollado para aplicaciones industriales, el cual proporciona un método para organizar y representar datos, administrar conexiones y facilitar la mensajería en una red. Este, permite a los usuarios integrar aplicaciones de automatización, control, seguridad, sincronización y movimiento (Automation, 2022).

Es un protocolo donde los dispositivos están representados por un modelo de objetos, y los objetos específicos de la red definen cómo se configuran los parámetros, mientras que los objetos de comunicación proporcionan los medios para establecer comunicaciones y acceder a datos y servicios desde dispositivos a través de la red (Leurs, 2019).

DESARROLLO DEL PROTOTIPO

Se desarrollo un sistema de control de movimiento haciendo uso del protocolo CIP Motion, mediante la manipulación de dos servomotores y un motor trifásico de inducción, como se muestra en la figura 1.

Como se observa en la figura 1, para hacer esto posible se utilizó un controlador de automatización programable (PAC) CompactLogix L36ERM, el cual se comunicó mediante un puerto EtherNet/IP a un switch administrable (MOXA), enlazándose con dos servodrive Kinetix 350 que controlan a dos servomotores, un módulo remoto Point I/O y un variador de frecuencia PowerFlex 40 que controla aun motor de inducción, utilizando una topología de estrella.

¹ Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica-Zacatenco, Ingeniería en Control y Automatización. ictorres@ipn.mx, Maestra en Ciencias.

² Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica-Zacatenco, Ingeniería en Control y Automatización. phuerta@ipn.mx, Maestro en Ciencias.

³ Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica-Zacatenco, Ingeniería en Control y Automatización. rtolentino@ipn.mx, Maestro en Ciencias.



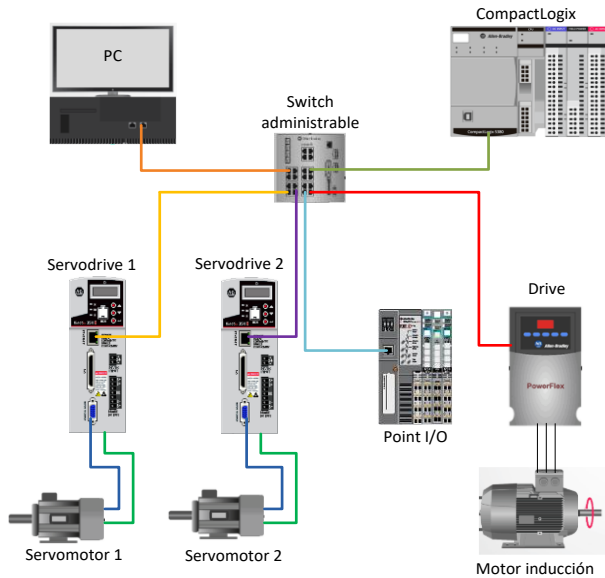


Figura 1.- Integración del prototipo.

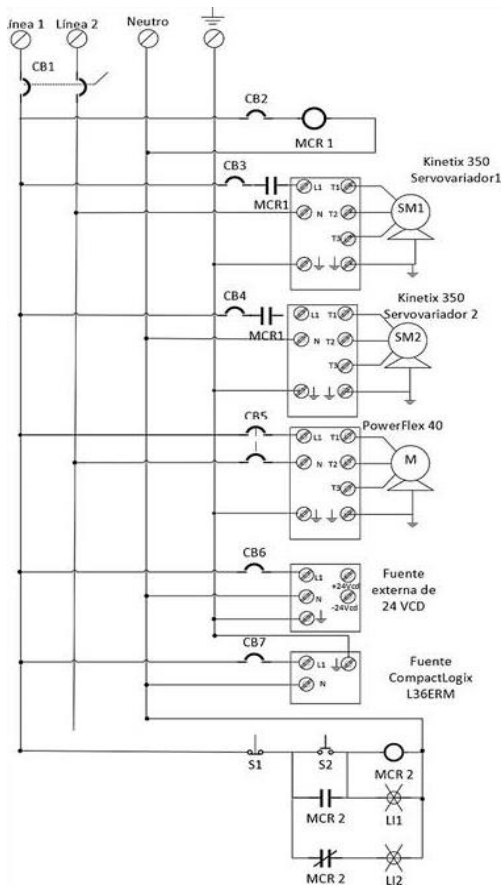


Figura 2.- Diagrama eléctrico de potencia.

Una vez seleccionados los dispositivos a utilizar en el sistema, se diseñaron los diagramas eléctricos. La alimentación principal consta de dos fases 127 V cada una, un neutro y una tierra. En la figura 2 se pueden apreciar las conexiones de los dos servodrive que se alimenta a 127 V y la conexión del variador de frecuencia a 220 V. Así mismo en esta figura se muestran las conexiones de la fuente externa de CD y la conexión de la fuente del PAC, así como el circuito de control que energiza las entradas del controlador. En la figura 3 se muestran los diagramas eléctricos de las entradas y salidas del PAC, que se alimentan a 24 V en corriente directa, los cuales se obtienen de la fuente externa que se instaló. Aquí se pueden apreciar las conexiones del switch administrable, del módulo remoto Point I/O, de las alimentaciones de los servodrive a 24 V y en general de las conexiones de las entradas y salidas.

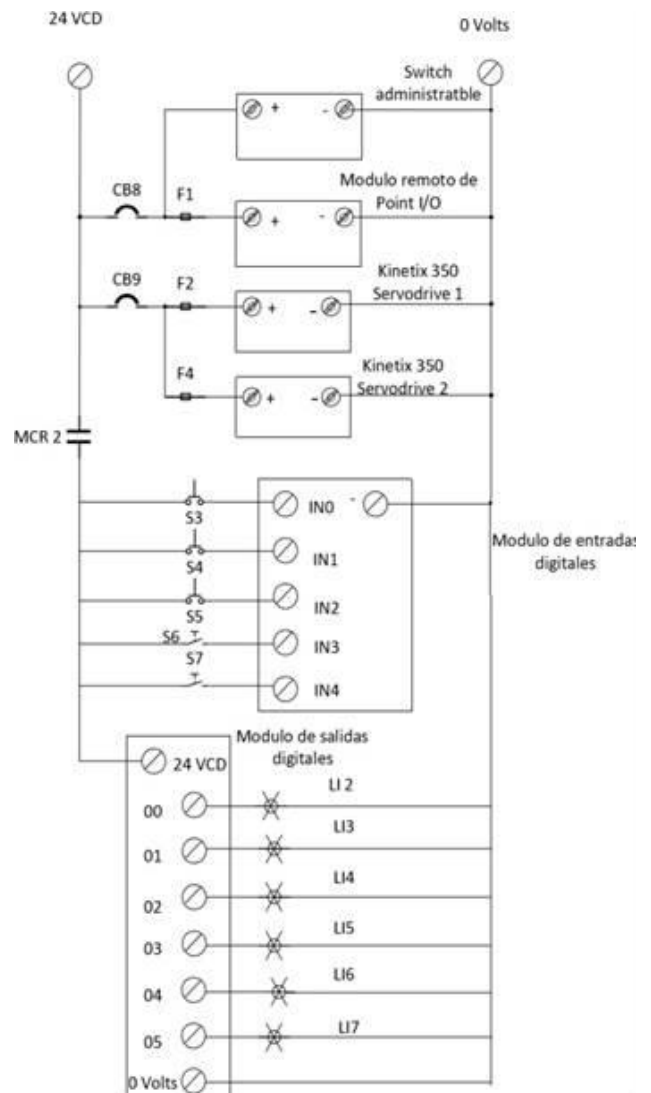


Figura 3.- Diagrama eléctrico de conexiones a 24V CD.



TOPOLOGÍA DE COMUNICACIÓN

Una vez armado y conectado el sistema de control de movimiento, se diseñó la estructura de comunicación de EtherNet/IP mediante la topología estrella con un Switch administrable, como se muestra en la figura 4.

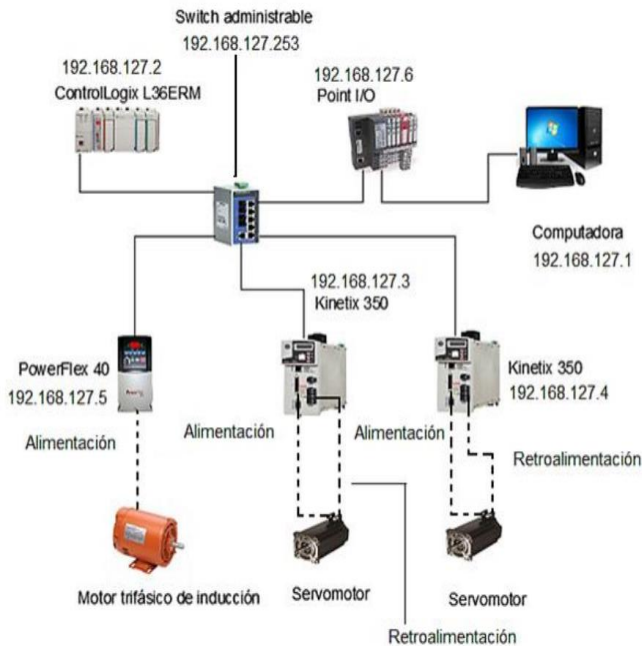


Figura 4.- Conexión de los dispositivos en topología estrella.

Para poder establecer la comunicación entre los dispositivos mediante una red EtherNet/IP, fue necesario que se encuentren en la misma red, por lo cual se asignaron las direcciones IP que se muestran en la Tabla 1 a cada uno de los dispositivos a través del software BOOTP/DHCP server.

Tabla 1.- Direcciones IP de los dispositivos de la red.

Dispositivo	MAC	Dirección IP
Computadora	6C:34:08:43:33:23	192.168.127.1
PAC	E4:90:69:A3:B2:FC	192.168.127.2
Servovariador 1	00:0C:61:02:19:45	192.168.127.3
Servovariador 2	00:0C:61:01:9E:78	192.168.127.4
Variador de frecuencia	00:00:BC:56:57:0B	192.168.127.5
Point I/O	E4:90:69:9F:82:4D	192.168.127.6
Switch administrable	00:AB:BC:56:83:5B	192.168.127.253

En el caso del switch administrable la asignación de su IP se realizó a través de la aplicación de web server de MOXA, en la cual también se realizaron las configuraciones de fecha, hora, velocidad de transferencia, habilitación de los puertos, medio de comunicación y de las direcciones IP de los equipos que pueden

tener acceso a él, como se muestra en la figura 5. También se realizó la configuración del protocolo con el que se va a trabajar, ya que de fábrica tiene habilitado el protocolo Modbus TCP, el cual se tiene que deshabilitar y habilitar el protocolo EtherNet/IP. El switch que se instala tiene un relé el cual se utiliza para dar advertencias a través de un led indicador rojo, que se enciende en caso de presentarse una falla. El relé se habilita solo si se pierde la conexión con alguno de los dispositivos que se asignaron a cada uno de los puertos, de igual forma se habilita si hay un exceso de tráfico en alguno de los puertos.

Port Settings

Port	Enable	Description	Name	Speed	FDX Flow Ctrl	MDI/MDIX
1	<input checked="" type="checkbox"/>	100TX,RJ45	CompactLogix	Auto	Enable	Auto
2	<input checked="" type="checkbox"/>	100TX,RJ45	ServoVariador 1	Auto	Enable	Auto
3	<input checked="" type="checkbox"/>	100TX,RJ45	ServoVariador 2	Auto	Enable	Auto
4	<input checked="" type="checkbox"/>	100TX,RJ45	Variador de frecuencia	Auto	Enable	Auto
5	<input checked="" type="checkbox"/>	100TX,RJ45	Point I/O	Auto	Enable	Auto

Figura 5.- Configuración de los puertos del Switch.

Una vez asignadas las IP de cada uno de los dispositivos, se utilizó el software RSLink Classic para configurar un driver para la red EtherNet/IP como se puede observar en la figura 6.

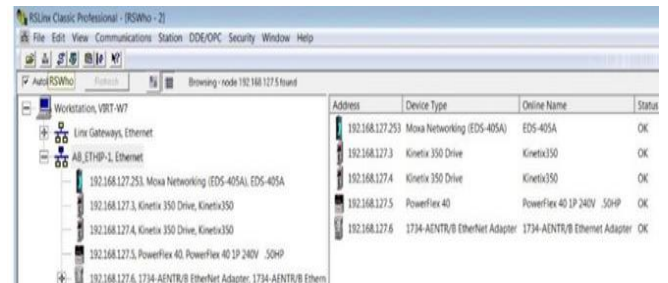


Figura 6.- Dispositivos de la red EtherNet/IP.

PROGRAMACIÓN

Para realizar la programación del controlador, primero se desarrollaron los diagramas de flujo para verificar la comunicación de los dispositivos y poder observar la transferencia de datos a través del switch administrable, para ello se crearon 3 rutinas diferentes: Rutina de partida, Rutina simple y Rutina triple.

La rutina de partida se creó con la intención de siempre poder partir del mismo punto para las rutinas simple y triple, esto debido a que los encoders de los servomotores son incrementales y no absolutos, por lo tanto, requieren de un punto de partida para iniciar una rutina. Lo que se hace en esta rutina es desplazar la base del eje lineal hasta la parte inferior, cuando lo detecta el sensor del límite inferior, este se desplaza 4 revoluciones hacia arriba y ahí se detiene. Después de esto el eje rotatorio empieza a girar en sentido de las manecillas del reloj, hasta el punto en donde lo detecta un sensor de proximidad y finalmente avanza 0.2 revoluciones más en el mismo sentido (figura 7).

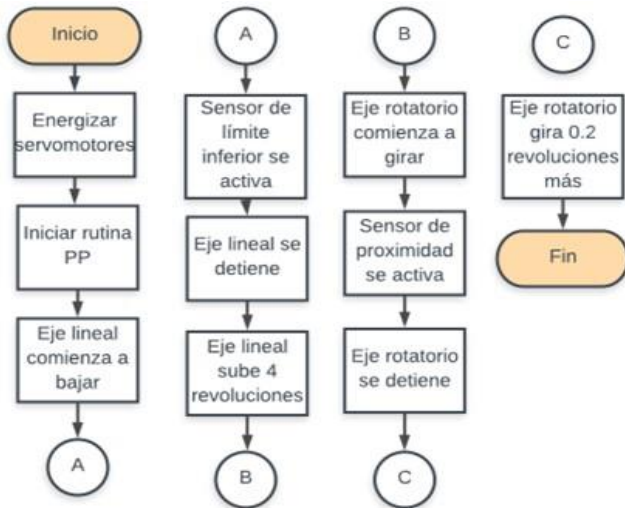


Figura 7.- Diagrama de flujo de la rutina punto de partida.

La rutina simple desplaza la base del eje lineal 2 revoluciones hacia abajo, después 2 revoluciones hacia arriba y posteriormente el eje rotatorio gira una revolución en sentido de las manecillas del reloj, esta rutina es cíclica por lo tanto esta se mantendrá haciendo lo mismo hasta que se oprima el botón de paro (figura 8).



Figura 8.- Diagrama de flujo de la rutina simple.

La rutina triple comienza desplazando la base del eje lineal 2 revoluciones hacia abajo, después 2 revoluciones hacia arriba, comienza a girar el eje rotatorio en sentido de las manecillas del reloj 0.2 revoluciones, vuela a bajar y subir la base del eje lineal, posteriormente gira 0.2 revoluciones más el eje rotatorio en el mismo sentido, vuela a bajar y subir la base, finalmente gira 0.6 revoluciones el eje rotatorio en el mismo sentido, la rutina es cíclica por lo tanto esta se detendrá hasta que se presiones el botón de paro de ciclo (figura 9).

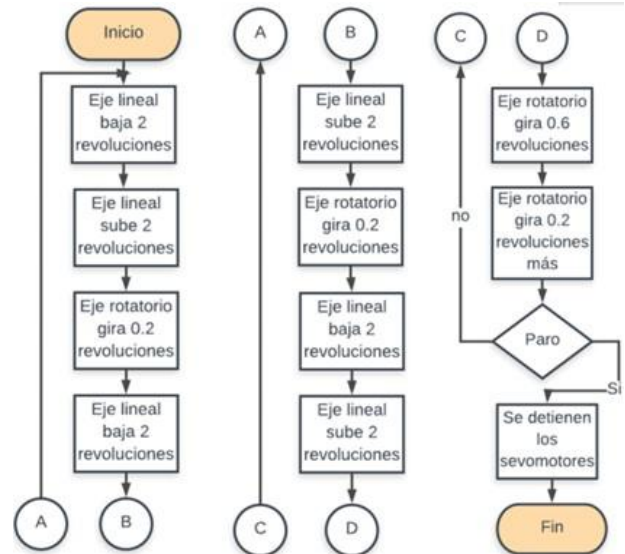


Figura 9.- Diagrama de flujo de la rutina triple.

Una vez teniendo las rutinas de operación, se realizó la programación en escalera en el software Studio 5000, donde previamente se agregaron las tarjetas que físicamente tiene el PAC, como se observa en la figura 10 en la sección del 1769 Bus.

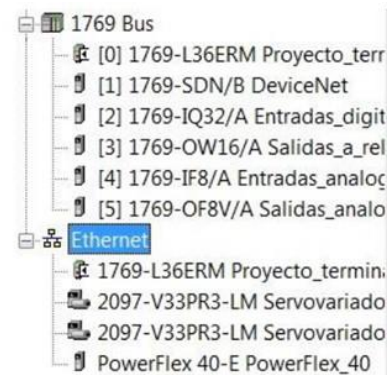


Figura 10.- Dispositivos dados de alta en el PAC.

Asimismo, en el proyecto se seleccionó el procesador del controlador y se dieron de alta los servodrivs y servomotores así



como el variador de velocidad todos ellos a través de la tarjeta de comunicación Ethernet, como se observa en la figura 10.

Posteriormente se creó el grupo de movimiento llamado “Ejes_del_prototipo” para manipular los dos servomotores, como se observa en la figura 11, en este caso un eje fue rotatorio y el otro vertical ya que de esa forma estaban acoplados los servomotores al modelo que se utilizó.



Figura 11.- Grupo de movimiento.

En el proyecto también se dio de alta el switch de la misma forma que los dispositivos anteriores, para esto se fue a la sección de comunicaciones y se seleccionó el módulo de Ethernet genérico como se puede observar en la figura 12.

Catalog Number	Description	Vendor	Category
DataMan 300 Series	ID Reader	Cognex Corp...	Communication
DataMan 500 Series	ID Reader	Cognex Corp...	Communication
DataMan 8000 Series	ID Reader	Cognex Corp...	Communication
Drivelogix5730 Ether...	10/100 Mbps Ethernet Port on DriveLogix5730	Allen-Bradley	Communication
E1 Plus	Electronic Overload Relay Communications...	Allen-Bradley	Communication
EtherNet/IP	SoftLogix5800 EtherNet/IP	Allen-Bradley	Communication
ETHERNET-BRIDGE	Generic EtherNet/IP CIP Bridge	Allen-Bradley	Communication
ETHERNET-MODU	Generic Ethernet Module	Allen-Bradley	Communication
ILX34-AENWG	1734 Wireless Ethernet Adapter, Twisted-P...	Prosoft Tech...	Communication
IND131 Ethernet/IP	Scale Terminal	Mettler-Toledo	Communication
IND560 Ethernet/IP	Scale Terminal	Mettler-Toledo	Communication

Figura 12.- Selección del módulo Ethernet para el switch.

Luego de haber dado de alta todos los dispositivos que conforman la red EtherNet/IP se prosiguió a importar la instrucción Add-On, esta es otra de sus ventajas del Switch ya que se puede descargar esta instrucción desde el sitio web oficial de MOXA sin ningún costo. Mediante esta instrucción se puede configurar el switch sin la necesidad de ingresar a la consola web, de igual forma se pueden utilizar los parámetros de este para que se tomen decisiones dentro de la programación.

Después de haber importado la instrucción, automáticamente aparece en la pestaña de las instrucciones Add-On, el cual se configuro con los parámetros que se muestra en la figura 13 (Bradley,2020).



Figura 13.- Instrucción Add-On con tags asignadas.

En la memoria global (controller tags) se pueden visualizar los parámetros del switch, (figura 14), dentro de este se encuentran todos los tags que se utilizan para configurar los datos generales del switch así como las advertencias por alguna falla del mismo.

Name	Value
[-] moxa_param.Switch_Idnetity	{...}
[+] moxa_param.Switch_Idnetity.Vendor_ID	991
[+] moxa_param.Switch_Idnetity.Device_Type	775
[+] moxa_param.Switch_Idnetity.Product_Code	7
[+] moxa_param.Switch_Idnetity.Major_Revision	0
[+] moxa_param.Switch_Idnetity.Minor_Revision	0
[+] moxa_param.Switch_Idnetity.Serial_Number	16#0000_259d
[+] moxa_param.Switch_Idnetity.Product_Name	'EDS-408A'
[+] moxa_param.Switch_Idnetity.Assigned_Na...	''
[+] moxa_param.Switch_Idnetity.Geographic_...	''
[+] moxa_param.Switch_TCPIP	{...}
[-] moxa_param.Switch_Vendor	{...}
[+] moxa_param.Switch_Vendor.System_Firm...	524291
[+] moxa_param.Switch_Vendor.System_Fault...	8192
[+] moxa_param.Switch_Vendor.Switch_Port_...	0
[+] moxa_param.Switch_Vendor.Port_Exist	{...}
[+] moxa_param.Switch_Vendor.Port_Enbale	{...}
[+] moxa_param.Switch_Vendor.Port_Link_St...	{...}
[+] moxa_param.Switch_Vendor.IGMP_Snoop...	0
[+] moxa_param.Switch_Vendor.Query_Interval	125
[+] moxa_param.Switch_Vendor.IGMP_Enhan...	0
[+] moxa_param.Switch_Vendor.Relay_1	0
[+] moxa_param.Switch_Vendor.Relay_2	0

Figura 14.- Tags del switch administrable.

PRUEBAS Y RESULTADOS

Las primeras pruebas realizadas fueron de medición eléctrica, para comprobar que todos los equipos estuvieran alimentados de forma



correcta. Se midió la tensión eléctrica de entrada de cada dispositivo con un multímetro.

En la figura 15 se muestra la prueba de tensión en el servodrive, en esta se muestra la alimentación a 127 V de corriente alterna en la etapa de potencia.



Figura 15.- Prueba de tensión en el servodrive 1.

Las siguientes pruebas realizadas fueron las de las secuencias de programación para comprobar el funcionamiento del sistema y así poder detectar fallas o anomalías que se pudieran presentar en alguna de las rutinas, en la figura 16 se observa la prueba de la rutina para el desplazamiento del eje lineal y del eje rotatorio.

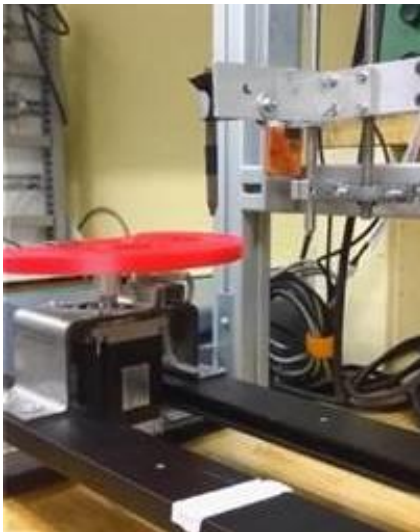
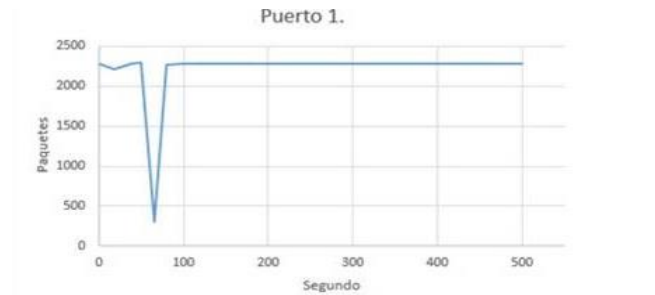


Figura 16.- Prueba de desplazamiento del eje lineal y rotacional.

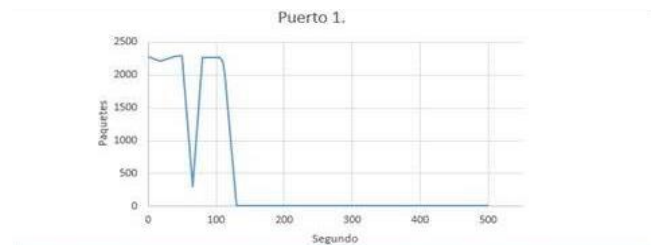
Una vez realizadas las pruebas de las secuencias de programación se realizaron las pruebas de la transferencia de datos en tiempo real en cada uno de los puertos del switch administrable. Para poder realizar la prueba es necesario desconectar físicamente el cable del puerto 1. En la figura 17 se muestra una gráfica de la transferencia de datos cuando hay comunicación con el dispositivo.



Port	Interface	Line swap	Link	Speed	MDIX	Traffic	IP of connected device
1	10/100M Tx	Enable	On	100M-Full MDI	1%	NA	

Figura 17.- Gráfica de trasferencia de datos con comunicación.

Asimismo, en la figura 18 se muestra una gráfica de la transferencia de datos cuando se pierde la comunicación con el dispositivo.



Port	Interface	Line swap	Link	Speed	MDIX	Traffic	IP of connected device
1	10/100M Tx	Enable	Off	---	---	0%	NA

Figura 18.- Gráfica de trasferencia de datos sin comunicación.

En el apartado de advertencias de la consola web se puede observar cómo indica que se perdió la conexión (figura 19)

Current Warning List		
Index	Event	Relay
1	Port 1 Link Off 1	1

Figura 19.- Advertencia en consola web.

Además, mediante el software RSLinx Classic se observa cómo se pierde la comunicación con el dispositivo (figura 20), también se apreciar que la comunicación con el resto de los dispositivos permanece, pero en este caso como el dispositivo que se encuentra en el puerto 1 es el PAC, los demás dispositivos se van a falla directamente y la rutina se detiene.



Figura 20.- Pérdida de comunicación RSLinx.



Otra prueba que se realizó con el switch fue la variación del límite de datos que puede transferir un puerto, en este caso en el puerto del PAC es donde mayor transferencia de datos había, debido a que la cantidad de datos que envía y recibe, son mayor que las de los otros dispositivos en la red, por lo tanto, el tráfico que había en el puerto 1 es del 1% (figura 21)

Index	Event	Relay
1	Port 1 Traffic overload!	1

Figura 21.- Tráfico en el puerto 1.

Una de las ventajas de usar un switch administrable es que se puede controlar y dar prioridad al tráfico de datos, y así como este advierte cuando se pierde la conexión con algún dispositivo o cuando el canal del puerto se empieza a saturar de información. En el área de priorización de tráfico se encuentra la opción de ajustes de limitación de velocidad de tráfico, en el cual se seleccionó la velocidad de transmisión de datos de cada puerto dependiendo si la priorización es alta, mediana, normal o baja, en este apartado se modifican todas las velocidades de todas las prioridades como se observa en la figura 22.

Port	Policy	Ingress Priority Queue Rate			
		Low	Normal	Medium	High
1	Limit Broadcast, Multicast, Flooded Unicast	2M	4M	8M	16M
2	Limit Broadcast, Multicast, Flooded Unicast	1M	2M	4M	8M
3	Limit Broadcast, Multicast, Flooded Unicast	256K	512K	1M	1M
4	Limit Broadcast, Multicast, Flooded Unicast	256K	256K	512K	512K
5	Limit Broadcast, Multicast, Flooded Unicast	128K	128K	256K	512K

Figura 22.- Priorización de los puertos.

CONCLUSIONES

El protocolo industrial común de movimiento es eficiente y brinda diversos beneficios en aplicaciones de movimiento, donde se requiere un posicionamiento mecánico preciso y controlado mediante el uso de variadores de frecuencia y servovariadores, este protocolo permite operar distintos ejes de movimiento a la vez. Para comprobar la aplicación que tiene CIP Motion se conectaron los dispositivos en una topología de estrella, por medio del software RSLinx Classic se visualizó la comunicación de los dispositivos en la red, posteriormente en la consola del switch administrable se observó la transferencia de datos que se llevaba a cabo cuando se ejecutaban las secuencias de programación. Mediante las pruebas se observó que al desconectarse alguno de los dispositivos de la red, el resto de los dispositivos seguían comunicándose sin presentar algún error y continuaban con sus tareas programadas.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

Automation, R. (2022). Integrated Motion on the EtherNet/IP. Rockwell Automation.

Bradley, A. (2020). Manual de referencia. Instrucciones generales de los controladores Logix 5000. Rockwell Software.

Leurs, L. (2019). Application of CIP Safety for functional safety in motion applications. Rockwell Automation.

ODVA. (2019). The Common Industrial Protocol. ODVA.

ODVA. (2022). Common Industrial Protocol (CIP) and the family. ODVA.

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Ivone Cecilia Torres Rodríguez: Ingeniera en Control y Automatización de ESIME Zacatenco, IPN. M. en C. en Ingeniería Eléctrica por la SEPI ESIME Zacatenco del IPN. Profesora titular del departamento de Ingeniería en Control y Automatización de la ESIME Zacatenco.

Pedro Francisco Huerta González: Ingeniero Electricista de ESIME Zacatenco, IPN. M. en C. en Ingeniería Eléctrica, SEPI ESIME Zacatenco, IPN. Profesor titular del departamento de Ingeniería en Control y Automatización de la ESIME Zacatenco.

René Tolentino Eslava: Ingeniero Mecánico de ESIME Azcapotzalco, IPN. M. en C. en Ingeniería Mecánica por la SEPI, ESIME Zacatenco, IPN. Profesor titular del departamento de Ingeniería en Control y Automatización de la ESIME Zacatenco.



Implementación de un sistema de inspección de visión artificial para el análisis de tapones de rines

Pedro Francisco Huerta González¹, Ivone Cecilia Torres Rodríguez², René Tolentino Eslava³

RESUMEN

En este trabajo se realiza la implementación de un sistema de inspección de visión artificial para identificar defectos específicos en los tapones de rines de diversas marcas de automóviles, los cuales deben de cumplir con ciertas especificaciones, ya que a simple vista es difícil detectar algunos errores durante la producción, lo que ocasiona merma de material. Para lograr esto, primero se analiza el funcionamiento del sensor de visión definiendo su configuración mediante el empleo de la herramienta patrón a través de la realización de pruebas de forma manual y utilizando su software de programación. Realizado esto, se efectúa la transferencia de información del sensor de visión a un Controlador de Automatización Programable, en el cual, se programa el movimiento del sistema servo para el posicionamiento y análisis de diversas piezas para su rechazo o aprobación, así como el conteo de estos.

ABSTRACT

In this work, the implementation of an artificial vision inspection system is carried out to identify specific defects in the rim caps of various automobile brands, which must comply with certain specifications, since at first sight it is difficult to detect some errors during production which causes loss of material. To achieve this, the operation of the vision sensor is first analyzed, defining its configuration by using the standard tool through manual testing and using its programming software. Once this is done, the information is transferred from the vision sensor to a Programmable Automation Controller, in which the movement of the servo system is programmed for the positioning and analysis of various pieces for their rejection or approval, as well as the count of these.

Palabras claves: Controlador de automatización programable, sensor de visión, servodrive, servomotor.

INTRODUCCIÓN

Dentro de la industria automotriz, la estética se ha convertido en un campo de batalla, ya que los fabricantes se han vuelto cada vez más conscientes de que la percepción visual del automóvil es vital para que los consumidores tomen una decisión en el momento de su adquisición. Por ello, la calidad en la estética del automóvil es un concepto mucho más completo, ya que no solo se trata de entregar productos de alta calidad y eliminar defectos antes de que los productos lleguen al mercado, sino también se trata de mantener bajos los costos de fabricación (Malarvel, 2020). Por lo tanto, los fabricantes deben mejorar sus procesos de producción y evitar reprocesamientos innecesarios que puede ocasionar merma de materiales que, en caso de detectarse demasiado tarde genera pérdidas económicas (Nayak, 2021). Así pues, dentro de los elementos que contribuyen para la inspección y mejorar el control de calidad se encuentran los sensores de visión, los cuales permiten identificar detalles que el ojo humano o sensores industriales no pueden determinar con facilidad, disminuyendo los errores en el proceso de producción y evitando así el desperdicio de materiales (Domínguez, 2021).

Por ello en este trabajo se desarrolla un sistema de inspección visual, empleando un sensor de visión a color para identificar defectos específicos en los tapones de rines de diversas marcas de automóviles, los cuales deben de cumplir con ciertas especificaciones, las cuales son indicadas por cada marca, ya que a simple vista es difícil detectar algunos errores durante la producción, generando merma de material y en ocasiones, cuando el inspector no se percata de los defectos, suele llegar al cliente partes defectuosas, generando malestar, reclamos y pérdidas para la empresa (Raut, 2022). Aunque aparentemente los tapones de rines tienen el mismo tamaño, la realidad es que este varía por milímetros, de acuerdo con la marca, lo cual provoca que los distribuidores empaquen piezas de otra marca y el pedido llegue erróneo al cliente, obligando a pagar la transportación extra e indemnización al cliente según sea el caso.

DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO

El prototipo está integrado por un Sensor de visión Cognex In-Sight 2000, el cual envía la información de las diferentes herramientas programadas para la detección del modelo de los tapones de llantas a un Controlador de Automatización Programable (PAC) CompactLogix 5370 (1769-L36ERM), en este, se programan la secuencia de movimiento de dos servomotores accionados por sus respectivos servodrives (Kinetix 350), el primero para mover a un eje rotacional, el cual posiciona a los tapones en la posición adecuada para su inspección por parte del

¹ Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica-Zacatenco, Ingeniería en Control y Automatización. ictorres@ipn.mx, Maestra en Ciencias.

² Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica-Zacatenco, Ingeniería en Control y Automatización. phuerta@ipn.mx, Maestro en Ciencias.

³ Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica-Zacatenco, Ingeniería en Control y Automatización. rtolentino@ipn.mx, Maestro en Ciencias.





sensor de visión, y el segundo controla el movimiento de un eje lineal, el cual se desplaza 90% de su desplazamiento (45 rev) si la pieza Volkswagen es aceptada, 60% de su desplazamiento (30 rev) si la pieza Mazda es aceptada o 30% de su desplazamiento (15 rev) si alguna de las piezas son rechazadas (figura 1).

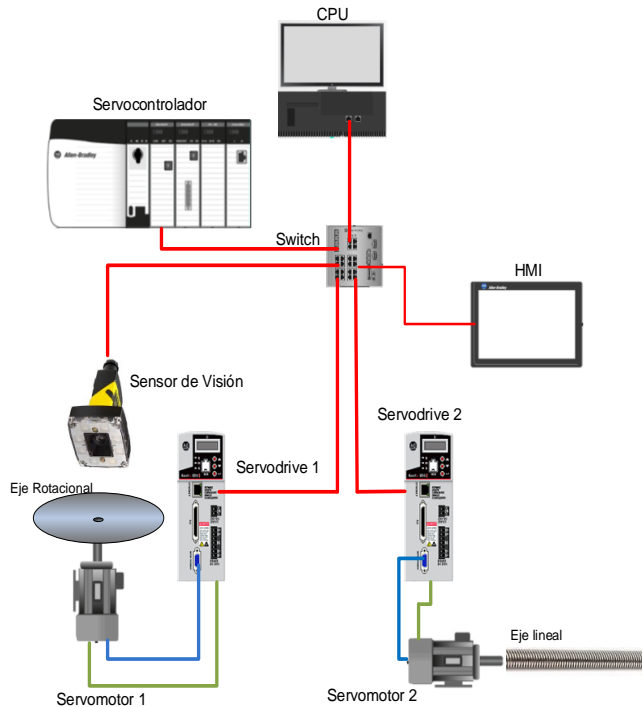


Figura 1.- Integración del prototipo (Autoría propia).

A continuación, se muestra la conexión física de los Controlador y los servodrive que integran el tablero de control. La alimentación hacia el PAC se hace a través de L, N y PE, protegido por un disyuntor CB2, ver figura 2.

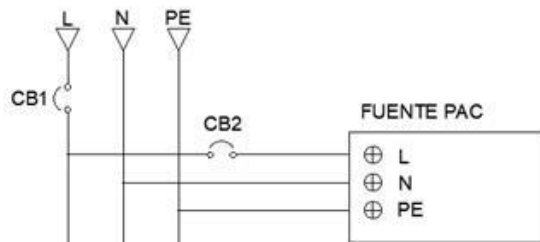


Figura 2.- Alimentación eléctrica del Controlador (Autoría propia).

La alimentación de los Servodrive Kinetix 350. Se realizó por dos disyuntores CB4 y CB5, los cuales son alimentados por L a 127 VCA, como se muestra en la figura 3. La función de CB4 y CB5 es proteger a los servodrive contra un corto circuito.

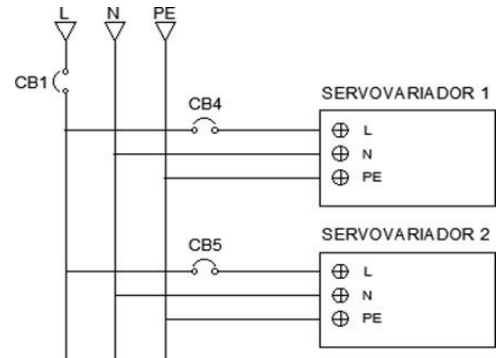


Figura 3.- Conexión de los Servodrive (Autoría propia).

COMUNICACIÓN DE DISPOSITIVOS

Una vez que se integró físicamente el prototipo, se continuo con la comunicación de los dispositivos a través de una red industrial, en la cual se utilizó una topología de tipo estrella ya que al tener más de 2 dispositivos de control conectados a la red es necesario tener una conexión multipunto. En la figura 4 se muestra de manera gráfica la topología utilizada en el proyecto y las direcciones IP correspondientes a cada dispositivo. Para la asignación de las direcciones IP de los dispositivos de control, fue necesario hacer uso del software BOOTP-DHCP Server, el cual a partir de la identificación de su dirección MAC fueron asignadas las direcciones IP de los dispositivos que se encuentran dentro de la red Ethernet/IP (Rockwell Automation, 2019).

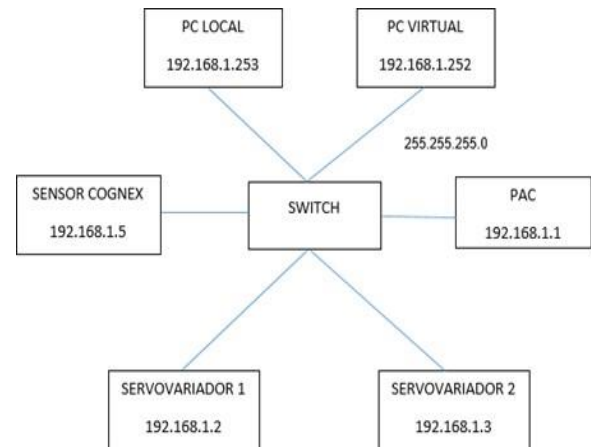


Figura 4.- Topología tipo estrella para la red EtherNet/IP (Autoría propia).

CONFIGURACIÓN DEL SENSOR DE VISIÓN

Una vez conectados los equipos, se procedió a configura el sensor de visión mediante el software In-Sight 2000. Para manejar el sensor de visión, lo primero que se configuró fue la imagen (campo de visión), en la cual se define la intensidad luminosa, la exposición a la luz y la resolución, todo esto para evitar



alteraciones a la hora de realizar las pruebas y así efectuar una inspección correcta (Cognex, 2018).

Una vez configurado el sensor, se ejecutaron las pruebas de forma manual para determinar cuál es la herramienta adecuada para el sistema. Se comenzó por la luminosidad, para lo cual, lo primero fue definir la pieza base (con las características deseadas), en donde se determinó el nivel luz y el porcentaje de aceptación que se permitirá en las piezas.

La segunda herramienta a probar fue el patrón, al igual que con la luminosidad, lo primero fue definir la pieza base como se muestra en la figura 5, en donde se determina que objeto se censará, determinará sus características (colores, forma, diseño, etc.), al igual que el grado de orientación (de 180° para cada lado, es decir, en cualquier posición), también se definió un porcentaje de aceptación, el cual va de 0 a 100%, entre más grande sea el resultado obtenido en las siguientes piezas será mejor.

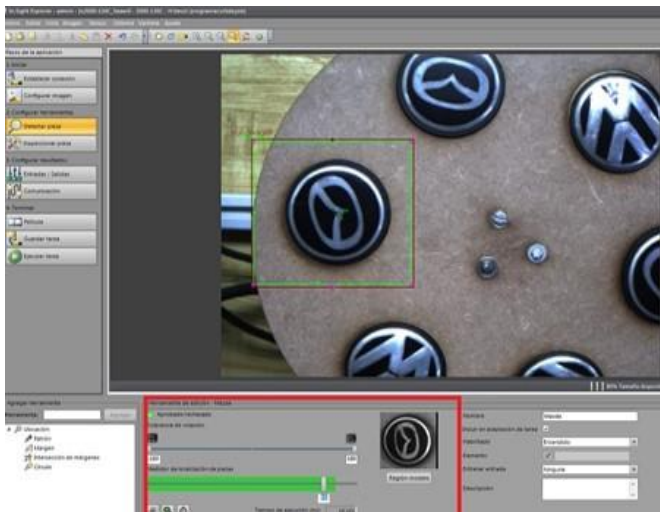


Figura 5.- Herramienta de patrón (Autoría propia).

La tercera herramienta utilizada fue el conteo de píxeles, se configuran los parámetros específicos de la pieza, definiendo la cantidad mínima de puntos de luz que se desean encontrar. Una vez establecida la muestra base, se llevó a cabo las pruebas para determinar la cantidad de puntos de luz detectados y así indicar que la pieza pasa o no pasa la prueba.

La cuarta herramienta utilizada fue la de contraste, en la que al igual que las herramientas anteriores, se definió la pieza base que contempla las características deseadas para verificar si es correcta, aunque en esta lo primero fue definir el color de la base en donde se localizará la muestra a censar.

Una vez que se programaron las herramientas en el sensor de visión, se prosiguió con la comunicación del PAC con la PC y la configuración de los drivers de comunicación, para ello se utilizó el software RSLinx Classic. En la figura 6 se muestran los dispositivos que se encuentran en la red Ethernet/IP, comprobando así que los dispositivos se encuentran en la misma red.

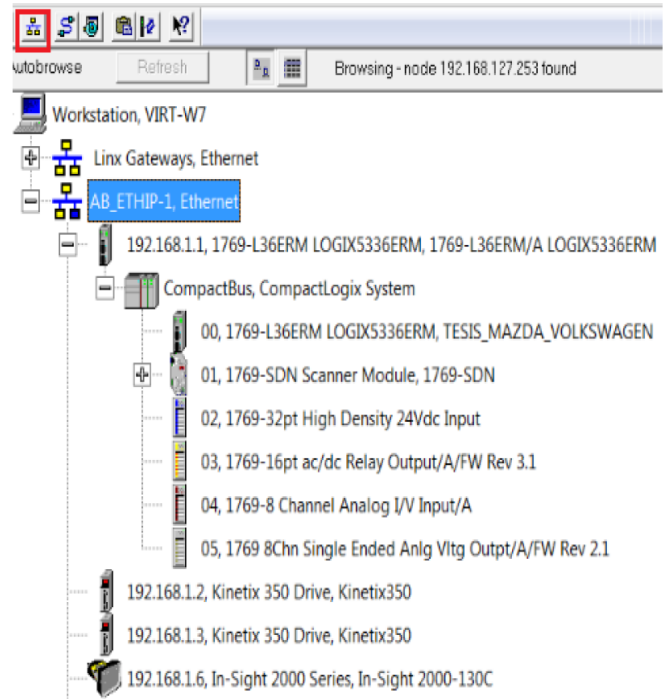


Figura 6.- Dispositivos en la Red Ethernet/IP (Autoría propia).

Una vez realizado el driver de comunicación, se utilizó el software Studio 5000 para realizar la lógica de programación para el control de movimiento de los servomotores, para lo cual se adicionaron todas las tarjetas que integran físicamente al controlador, como se muestra en la figura 7.

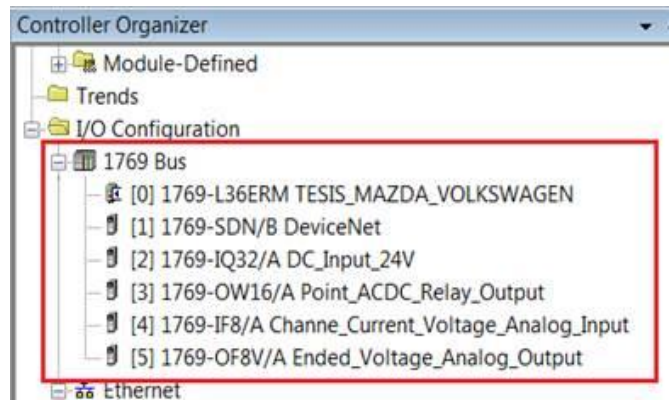


Figura 7.- Adición de tarjetas del controlador (Autoría propia).

Una vez integradas las tarjetas del controlador, se adicionó el sensor de visión (figura 8), y los servodrivres en los cuales se especifica su IP y su revisión (figura 9).

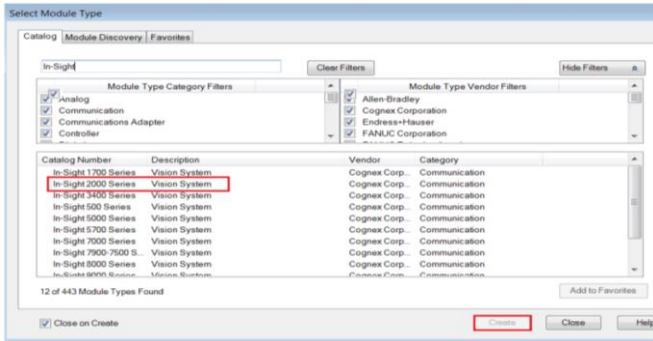


Figura 8.- Adición del sensor de visión (Autoría propia).

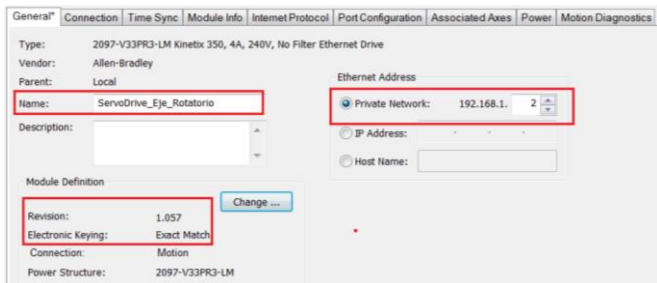


Figura 9.- Adición del Servodrive (Autoría propia).

ENVÍO DE DATOS DEL SENSOR DE VISIÓN

Para llevar a cabo una correcta comunicación entre los dispositivos, en el software In-Sight Explorer se selecciona el apartado de comunicación, dentro de él se escoge PLC Controlador de Movimiento donde se especifica la marca del controlador. Una vez seleccionada la marca, se habilita el tipo de comunicación que en este caso fue Ethernet industrial. Posteriormente se selecciona la pestaña de datos de salida los cuales serán enviados al PAC (figura 10), en este caso, al ser la herramienta de visión de patrón, se indican los resultados de las tareas (paso y rechazo), así como la puntuación o porcentaje de aceptación de cada prueba.

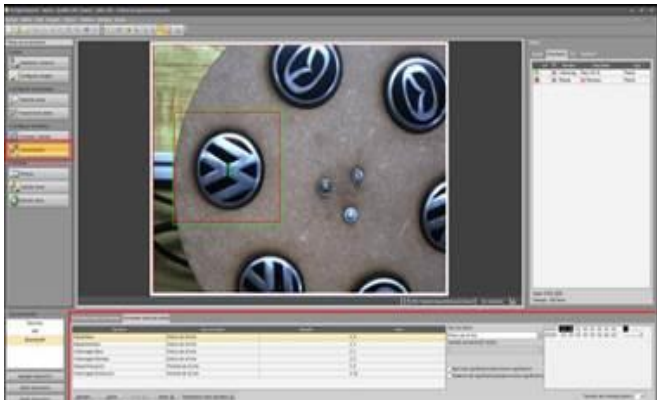


Figura 10.- Envío de información del sensor de visión (Autoría propia).

Dentro del software Studio 5000, se selecciona la opción de Controller Tags, desplegándose la sección Sensor_Vision.I y Sensor_Vision.O, en la cual se ven los datos que intercambian el sensor y el PAC, para realizar las pruebas adecuadas y determinar que Tag activa el disparador, en donde se reciben los resultados de las tareas y los porcentajes de aprobación, es necesario descargar el programa en el controlador, activar el modo run y poner el sensor en línea. Para identificar los Tags de los datos que se recibe del sensor, es necesario desplegar Sensor_Vision.I (datos de entrada), en donde se observan 8 datos de entrada de tipo DINT, los cuales contienen 32 bits, que acorde al resultado obtenido con el sensor estos se van modificando (figura 11).

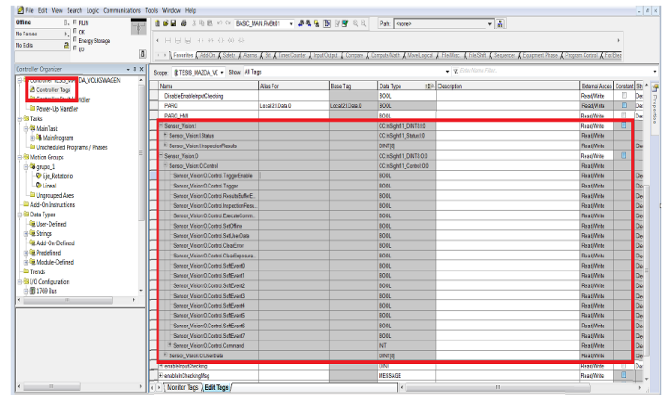


Figura 11.- Datos de entrada del sensor de visión (Autoría propia).

Los datos enviados desde el sensor llegan en el mismo orden en el Studio 5000, es decir, el primer dato de salida del software In-Sight Explorer es Sensor_Vision.I.Inspection.Results[0], el segundo es Tag que recibe información es el Sensor_Vision.I.Inspection.Results[1] y así sucesivamente, hasta llegar al Sensor_Vision.I.Inspection.Results[7] como se observa en la figura 12.

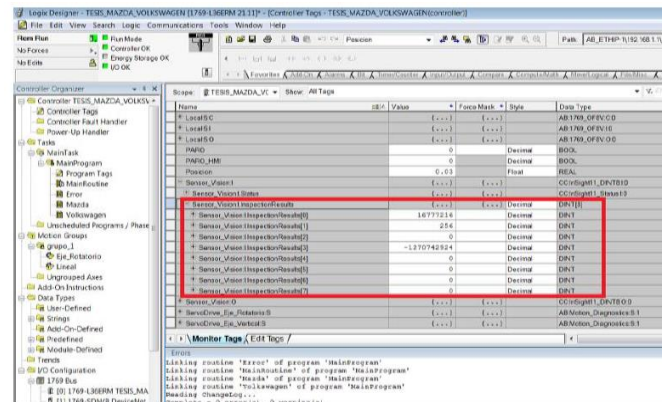


Figura 12.- Datos de salida hacia el sensor de visión (Autoría propia).



Por último, los Tags Sensor_Vision:I.Inspection.Results, al ser de tipo DINT, contienen 32 bits internos, para un rechazo o aprobación, el resultado es diferente al del porcentaje de aceptación, por lo que se despliegan para visualizar el comportamiento ante cada resultado. La etiqueta Sensor_Vision:I.Inspection.Results[0] al igual que Sensor_Vision:I.Inspection.Results[1] representan la información de aprobación o rechazo de tarea, al expandirse, muestra desde el Sensor_Vision:I.Inspection.Results[0].0 hasta el .31, teniendo como variación el .8 (cuando la tarea es aprobada pasa de 0 a 1) y el .24 que indica que la tarea fue rechazada.

A diferencia de los dos Tags anteriores, el Sensor_Vision:I.Inspection.Results[2] y el Sensor_Vision:I.Inspection.Results[3], indican el porcentaje de aprobación, aunque no lo muestran linealizado como se observa en la figura 13, por lo que es necesario utilizar un bloque BTM (Distribución de Campos de Bit) para obtener el valor obtenido en el sensor.

- Sensor_Vision.I.Inspection.Results	{...}	{...}	Decimal	DINT[8]
+ Sensor_Vision.I.Inspection.Results[0]	256		Decimal	DINT
+ Sensor_Vision.I.Inspection.Results[1]	16777216		Decimal	DINT
+ Sensor_Vision.I.Inspection.Results[2]	-1086193462		Decimal	DINT
+ Sensor_Vision.I.Inspection.Results[3]	0		Decimal	DINT
+ Sensor_Vision.I.Inspection.Results[4]	0		Decimal	DINT
+ Sensor_Vision.I.Inspection.Results[5]	0		Decimal	DINT
+ Sensor_Vision.I.Inspection.Results[6]	0		Decimal	DINT
+ Sensor_Vision.I.Inspection.Results[7]	0		Decimal	DINT
+ Sensor_Vision.O	{...}	{...}		CCInSight1_DINT8.0.0
+ ServoDrive_Eje_Rotatorio.S	{...}	{...}		ABMotor_Diagnostics.S1
+ ServoDrive_Eje_Vertical.S	{...}	{...}		ABMotor_Diagnostics.S1

Figura 13.- Porcentaje de aprobación (Autoría propia).

PROGRAMACION DEL SISTEMA

Para desarrollar la programación del sistema, es necesario entender la lógica de operación de este, por lo que se realizó un diagrama de flujo, el cual se muestra en la se figura 14.

Dentro de la programación, se crearon cuatro subrutinas, las cuales son:

- MainRoutine
- Error
- Mazda
- Volkswagen

Cada subrutina contiene la programación en escalera correspondiente a la activación y control de los servomotores. En la subrutina “MainRoutine” se elaboró la programación correspondiente al procesamiento de los bits que envía el sensor de visión y la activación de los servomotores.

En la subrutina “Error”, se ejecuta si alguna de las piezas a inspeccionar tuvo algún defecto o no están dentro de las condiciones de umbral que se estableció, en esta el eje lineal se desplazará a una posición de 15 cm.

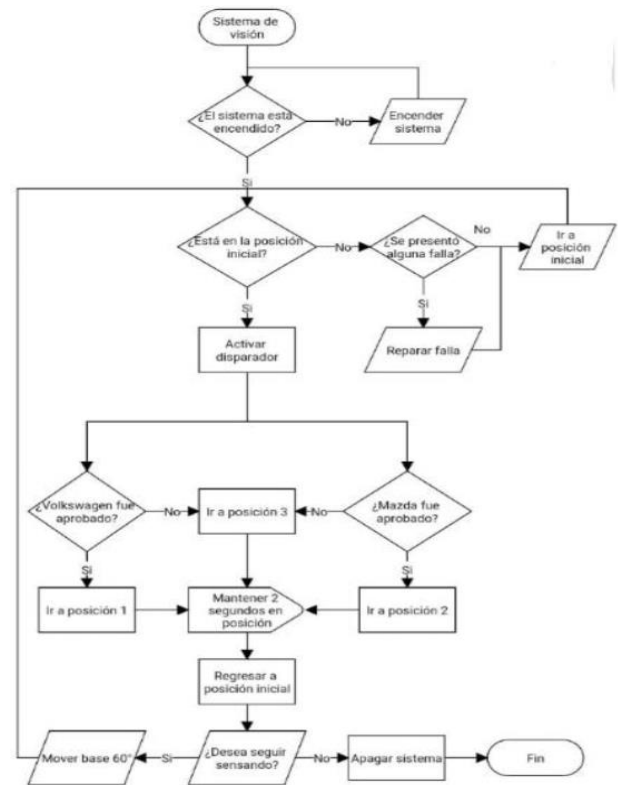


Figura 14.- Diagrama de flujo (Autoría propia).

Tanto para la Subrutina “Mazda” y “Volkswagen”, el programa ingresara a estas subrutinas si el resultado de las tareas programadas para la inspección de la pieza Mazda y Volkswagen en el sensor de visión son respectivamente correctas y en las cuales se entrega un valor de tipo BOOL, lo cual quiere decir que la tarea fue aceptada o de lo contrario ingresara a la subrutina de “Error”. Para obtener el valor real que envía el sensor, es necesario utilizar un bloque de función Bit Field Distribute (figura 15). Si la inspección de las piezas Mazda y Volkswagen son correctas, se programa al eje lineal mediante la instrucciones de movimiento (MSO, MAM, MAS, MAFR, MSF) para que este se desplace 90% (45 rev) y 60% (30 rev) respectivamente.

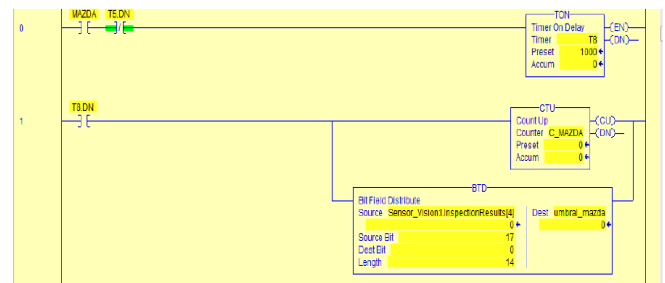


Figura 15.-Bloque de programación BTD (Autoría propia).



Para la ejecución del sistema de visión se creó una interfaz humano-máquina (HMI), la cual se generó con el software FactoryTalk View Studio Machine Edition y el cual permite al operador interactuar con el sistema. En la figura 16 se muestra la pantalla principal de la HMI desarrollada.

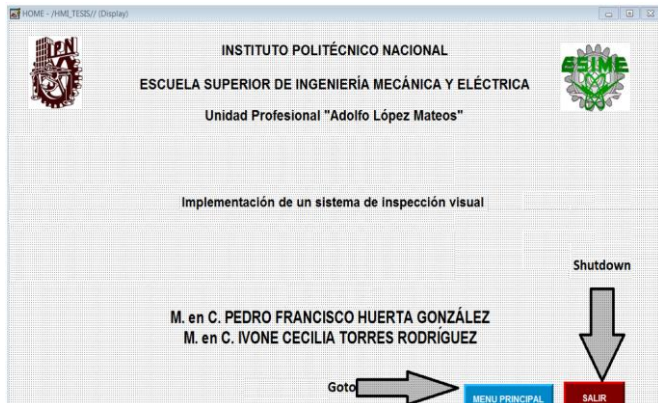


Figura 16.- Pantalla principal de la HMI (Autoría propia).

PRUEBAS Y RESULTADOS

Para comprobar el funcionamiento correcto del proyecto se realizaron una serie de pruebas con las cuales se obtuvieron ciertos resultados, los cuales se compararon con la HMI elaborada y el software del sensor.

Definida la herramienta de visión a utilizar, se procede a configurarla para obtener el resultado adecuado, se elige la pieza base de la marca Mazda, en la cual se fija el umbral mínimo de aprobación (en este caso de un 85%), los grados de rotación para detectar la imagen, así como el campo de visión, como se muestra en la figura 17.

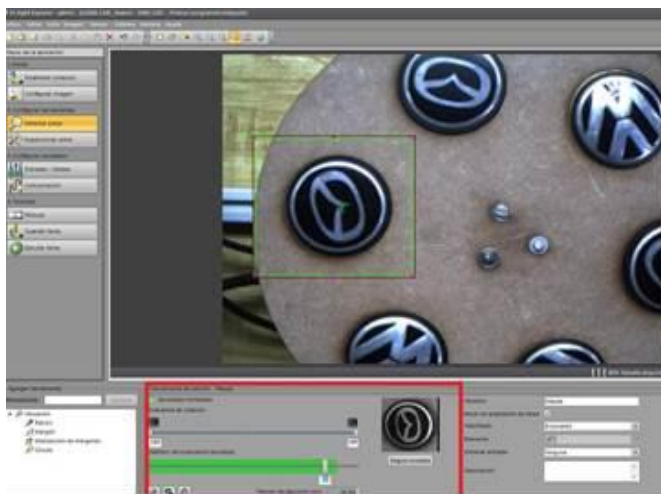


Figura 17.- Configuración herramienta patrón pieza Mazda (Autoría propia).

Una vez configurada la primera marca, se configura la pieza de la marca Volkswagen, definiendo un umbral de aprobación del 80%, una rotación desde -180° hasta 180° y el campo de visión en donde se localiza la pieza (figura 18)

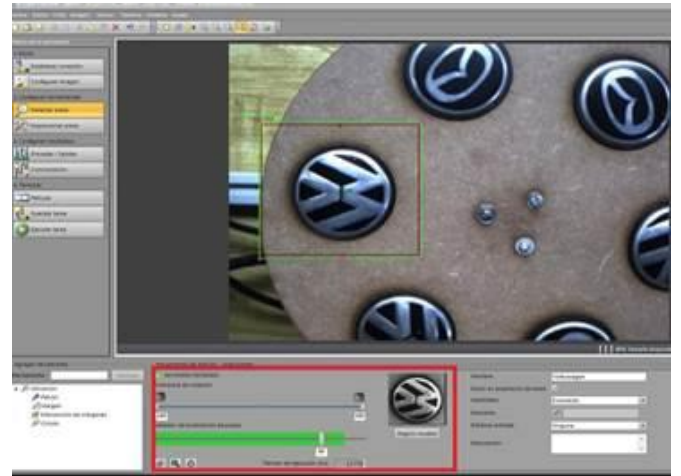


Figura 18.- Configuración herramienta patrón pieza Volkswagen (Autoría propia).

Una vez configuradas las tareas para las piezas de las dos marcas, se definen que datos se van a enviar al controlador (figura 19), los primeros dos datos a enviar son los resultados para Mazda, paso y rechazo, los siguientes dos datos son los de la marca Volkswagen, el quinto y sexto dato es la puntuación o porcentaje de aprobación de Mazda y Volkswagen respectivamente.



Figura 19.- Datos enviados al controlador (Autoría propia).

En la Tabla 1 se muestran los Tags mediante los cuales el sensor y el controlador intercambiarán la información de los resultados para la elaboración del programa para controlar el sistema de inspección de visión.



Tabla 1.- Tags generados para el intercambio de información (Autoría propia).

Dato	Tag	Tipo de dato
Mazda. Paso	Sensor_Vision:I.Inspection.Results[0].8	BOOL
Mazda. Rechazo	Sensor_Vision:I.Inspection.Results[0].24	BOOL
Volkswagen. Paso	Sensor_Vision:I.Inspection.Results[1].8	BOOL
Volkswagen. Rechazo	Sensor_Vision:I.Inspection.Results[1].24	BOOL
Mazda. Puntuación	Sensor_Vision:I.Inspection.Results[2]	DINT
Volkswagen. Puntuación	Sensor_Vision:I.Inspection.Results[3]	DINT
Trigger	tag_Sensor_Vision:O.Control.Trigger	BOOL

En la figura 20 se muestra la comparación del resultado que se obtiene en la HMI (lado izquierdo) y en el software del sensor (lado derecho), donde se observa un resultado con aprobación del 93% de la pieza Mazda.



Figura 20.- Resultado de aprobación del 93% en pieza Mazda (Autoría propia).

En la figura 21 se muestra la comparación del resultado que se obtiene en la HMI (lado izquierdo) y en el software del sensor (lado derecho), donde se observa un resultado de rechazo, esto quiere decir que la pieza no cuenta con el umbral requerido.

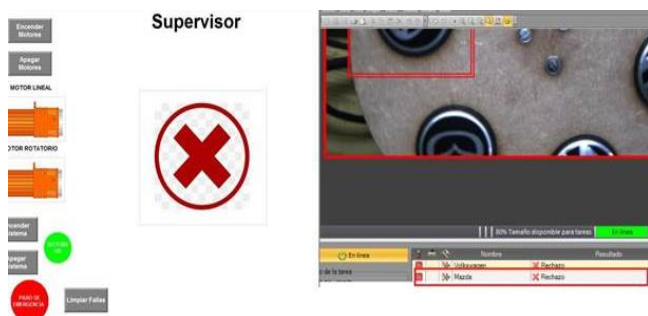


Figura 21.- Resultado de rechazo pieza Mazda (Autoría propia).

En la figura 22 se muestra la comparación del resultado que se obtiene en la HMI (lado izquierdo) y en el software del sensor (lado derecho), donde se observa un resultado con aprobación del 93%



Figura 22.- Resultado de aprobación del 90% pieza Volkswagen (Autoría propia).

En la figura 23 se muestra la comparación del resultado que se obtiene en la HMI (lado izquierdo) y en el software del sensor (lado derecho), donde se observa un resultado de rechazo, esto quiere decir que la pieza no cuenta con el umbral requerido establecido para la marca Volkswagen.

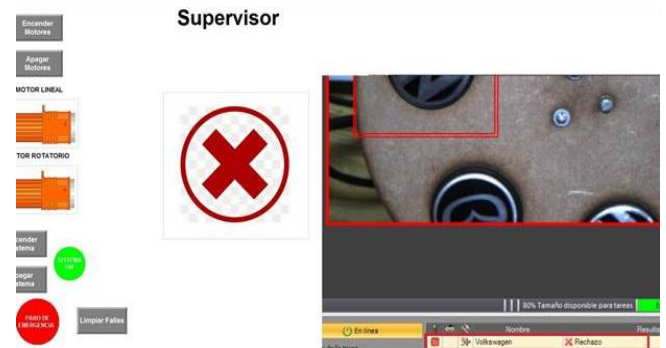


Figura 23.- Resultado de rechazo pieza Volkswagen (Autoría propia).

CONCLUSIONES

En este trabajo se realizó la implementación de un sistema de inspección visual por medio de un sensor de visión a color, con la finalidad de determinar un patrón en la fabricación de tapones de rines de los automóviles. Se lograron realizar las pruebas con el sensor y con ello se determinó la herramienta de inspección patrón, la cual consiste en determinar las características físicas de la pieza. Con la verificación de la configuración de imagen correcta y la herramienta apropiada se configuró el sensor con el controlador de automatización programable (PAC), se definieron los tags en los que el controlador recibía los datos enviados por el sensor, dichos



datos consistieron en paso y rechazo de ambas tareas, así como su umbral de aceptación establecido en un 85% y 100%.

Se realizó la programación para la operación adecuada del sistema, en la cual se programaron las instrucciones de movimiento (MSO, MAM, MAS, MAFR, MSF) para los servomotores y para la operación del sensor desde el software Studio 5000, todo esto llevado a cabo por medio de una red de comunicación EtherNet/IP, con un modelo productor-consumidor, en donde el PAC ocupa el rol de productor y el resto de los dispositivos cumplen el rol de consumidor.

Se comprobó el funcionamiento del sistema de inspección, el cual opera de manera local (tablero de control) y de manera remota (HMI), donde el resultado que percibe el sensor es enviado al controlador, dependiendo el resultado el servomotor lineal se desplaza un 90% de su carrera total (45 revoluciones) en caso de que la pieza aprobada sea de la marca Volkswagen, un 60% (30 revoluciones) en caso de que la pieza detectada sea de la marca Mazda y en caso de presentarse una pieza defectuosa la posición del eje se establece en un 30% (15 revoluciones), en cualquiera de los 3 resultados el eje se mantiene un par de segundos, una vez que se cumple la condición de tiempo el eje lineal regresa a su posición de home. Una vez detenido, el controlador envía la instrucción de movimiento al eje rotatorio, el cual gira 60° para detectar la siguiente pieza a inspeccionar, repitiendo esto de manera automática hasta que se presente una falla en el sistema o se finalice la producción.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

Malarvel, M., Nayak, S., Panda, S., & Pattnaik, P. (2020). Machine Vision Inspection Systems, Image Processing, Concepts, Methodologies and Application. Wiley-Scrivener.

Bradley, A. (2019). Manual de Referencia Instrucciones generales de los Controladores Logix. Rockwell Software.

Cognex. (2018). Introducción a la Visión Artificial: Una guía para la Automatización de procesos y mejora de la calidad. Cognex.

Dominguez Mínguez, T. (2021). Visión Artificial. Marcombo.
Nayak, S., & Sahoo, B. (2021). Smart Sensor Networks using AI for Industry 4.0: Applications and new Opportunities. Wiley-Scrivener.

Raut, R., Krit, S., & Chatterjee, P. (2022). Machine Vision for Industry 4.0 Applications and Case Studies. CRC Press.

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Pedro Francisco Huerta González: Ingeniero Electricista de ESIME Zacatenco, IPN. M. en C. en Ingeniería Eléctrica, SEPI ESIME Zacatenco, IPN. Profesor titular del departamento de Ingeniería en Control y Automatización de la ESIME Zacatenco.

Ivone Cecilia Torres Rodríguez: Ingeniera en Control y Automatización de ESIME Zacatenco, IPN. M. en C. en Ingeniería Eléctrica por la SEPI ESIME Zacatenco del IPN. Profesora titular del departamento de Ingeniería en Control y Automatización de la ESIME Zacatenco.

René Tolentino Eslava: Ingeniero Mecánico de ESIME Azcapotzalco, IPN. M. en C. en Ingeniería Mecánica por la SEPI, ESIME Zacatenco, IPN. Profesor titular del departamento de Ingeniería en Control y Automatización de la ESIME Zacatenco.





Automatización de máquina serigráfica, cálculos y selección de dispositivos

Ricardo Navarro Soto, María de Jesús Velázquez Vázquez, Juan Daniel Rivas Martínez, Martín Dario Castillo Sánchez *

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es desarrollar los cálculos, los programas y la selección de dispositivos que nos permitan automatizar una máquina serigráfica cilíndrica manual utilizada en la impresión de botellas de plástico, esto con el fin de aumentar la productividad, disminuir errores de producción y retrabajos. Se logró la selección de dispositivos electromecánicos, la elaboración de la configuración eléctrica y los programas para desarrollar la automatización más adecuada a este tipo de máquina, lo cual nos permitió obtener una configuración final a través de un programa de diseño en tercera dimensión con simulación aplicada.

ABSTRACT

The objective of the present work is to develop the calculations, the programs and the selection of devices that allow us to automate a manual cylindrical screen printing machine used in the printing of plastic bottles, this in order to increase productivity, reduce production errors and rework. The selection of electromechanical devices, the elaboration of the electrical configuration and the programs to develop the most appropriate automation for this type of machine were achieved, which allowed us to obtain a final configuration through a three-dimensional design program with applied simulation.

Palabras claves: Automatización, serigrafía, impresión, bastidor, mallas.

INTRODUCCIÓN

La ingeniería como tal en sus inicios fue generada a partir de la experimentación, prueba y error, con el tiempo fue afinando sus procesos, pero es finalmente con la ayuda de las matemáticas cuando se formaliza, haciendo de la matemática una herramienta muy poderosa que le permite desarrollar procesos analíticos para la solución de problemas, crear modelos de sistemas reales que nos permiten predecir comportamientos y mediante lenguaje matemático resolver problemas. La palabra serigrafía tiene su origen en la palabra del latín “sericum” (=seda) y en la griega “graphé” (=acción de escribir, describir o dibujar). La Serigrafía es un procedimiento de impresión que consiste en el paso de la tinta a

través de una plantilla que sirve de enmascaramiento, unida a una trama tensada en un bastidor. Los antecedentes más antiguos de este sistema se han encontrado en China, Japón y en las islas Fidji, donde los habitantes estampaban sus tejidos usando hojas de plátano, previamente recortadas con dibujos y que, puestas sobre los tejidos, empleaban unas pinturas vegetales que coloreaban aquellas zonas que habían sido recortadas. En el transcurso de la 2ª Guerra Mundial, los Estados Unidos descubrieron lo apropiado de este sistema para marcar material bélico tanto en las fábricas como en los propios frentes de guerra, habiéndose encontrado restos de talleres portátiles una vez acabada la contienda. El desarrollo de la Publicidad y el trabajo industrial en serie a partir de los años 50, convirtieron a la serigrafía en el sistema de impresión indispensable para todos aquellos soportes que, por la composición de su materia, forma, tamaño o características especiales, no se adaptan a las máquinas de impresión de tipografía, offset, hueco grabado, flexografía, etc. La impresión por serigrafía es el sistema que ofrece mayores posibilidades, pues prácticamente no tiene ningún tipo de limitaciones.

La máquina de serigrafía por automatizar, se utiliza para imprimir envases de plástico con forma cilíndrica y cónica, para una capacidad desde medio litro hasta de un litro. En un turno de 8 horas se realizan aproximadamente 5, 000 impresiones y esta se puede observar en la Figura 1. Esta máquina tiene dos diferentes movimientos, uno vertical y uno horizontal. El movimiento vertical se encuentra en el cabezal donde se coloca la pantalla y que se levanta para colocar el objeto a imprimir y una vez colocado el objeto baja para iniciar la impresión del objeto. Este se realiza por medio de un pedal que al momento de pisarlo acciona un sistema mecánico de resortes que permite levantar el cabezal de la pantalla y al soltarlo permite el descenso del cabezal. El movimiento horizontal también se ubica en el cabezal para la pantalla y que al desplazarse de izquierda a derecha es como se realiza la impresión en el objeto colocado. Este se realiza por medio de unos baleros colocados en la parte trasera del cabezal conectados a una corredera ubicada en la base de la máquina, este movimiento lo realiza el operario al desplazar con las manos el cabezal en la dirección que este lo requiera ya sea de derecha a izquierda o al contrario. Soria (2018), Balcells (2016).

* Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Zacatenco, Departamento de Mecánica, Dr. Martín Dario Castillo Sánchez, C Dr. María de Jesús Velázquez Vázquez, Ing. Juan Daniel Rivas Martínez, Correo electrónico: avinfer@hotmail.com

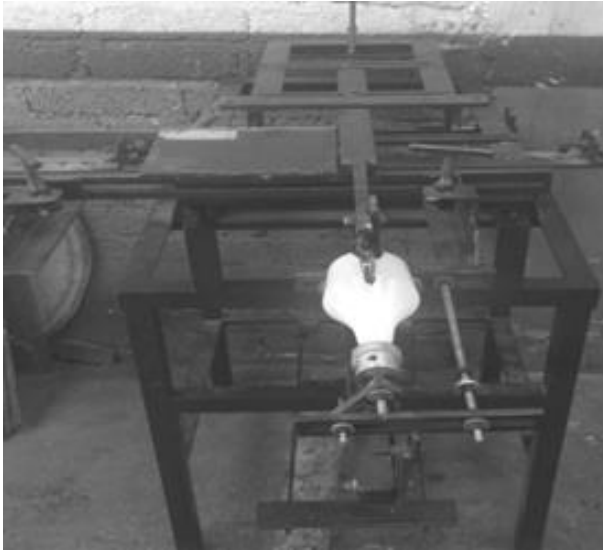


Figura 1. Máquina para impresión cilíndrica.

Volumen: una vez obtenidos los resultados de las Ecuaciones 2 y 3, se calcula el Volumen de avance (Ecuación 4) y el Volumen de retroceso (Ecuación 5)

$$V_{av} = S_{avance} * C \quad (4)$$

$$V_{ret} = S_{retroceso} * C \quad (5)$$

Donde C= Carrera

Ya con los resultados de las ecuaciones 4 y 5, se puede calcular el Volumen Total con la Ecuación 6.

$$V_T = V_{av} + V_{ret} \quad (6)$$

Caudal: una vez calculado el Volumen total, se procede a calcular el caudal con la Ecuación 7.

$$Q = \frac{V_T}{T} \quad (7)$$

Donde T= tiempo total en que el cilindro realizara el ciclo.

CILINDRO PARA DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL DE LA PANTALLA

El sistema de desplazamiento horizontal donde se colca la pantalla tiene un peso aproximado de 5 kg y el marco de la pantalla tiene un peso de 500 g, considerando que este es de madera ya que es el más común, dando un peso total de 5.5 kg aproximadamente, el cilindro deberá tener una carrera de 260mm. Sustituyendo valores en la ecuación 1, se obtiene la ecuación 8.

$$F = (5.5 \text{ kg}) * (9.81 \text{ m/s}^2) = 53.955 \text{ N} \quad (8)$$

De acuerdo a los valores de ecuación 8, se tienen los valores de ecuación 9.

$$\Phi_v = 4 \text{ mm} \quad \Phi_e = 12 \text{ mm} \quad (9)$$

Sustituyendo los valores de ecuación 9 en ecuación 2 se obtienen ecuaciones 10 y 11.

$$S_{av} = \frac{\pi \cdot \Phi_e^2}{4} = \frac{\pi \cdot (12)^2}{4} = 113.097 \text{ mm}^2 \quad (10)$$

$$S_{ret} = \frac{\pi \cdot (\Phi_e^2 - \Phi_v^2)}{4} = \frac{\pi \cdot ((12)^2 - (4)^2)}{4} = 100.530 \text{ mm}^2 \quad (11)$$

Sustituyendo los valores de ecuaciones 10, 11 y la carrera del pistón en ecuaciones 4 y 5, se obtienen ecuaciones 12 y 13.

$$V_{av} = S_{av} * C = (113.097) * (260) = 29405.22 \text{ mm}^3 \rightarrow 0.0294 \text{ L} \quad (12)$$

DESARROLLO

CÁLCULO DE LOS CILINDROS NEUMÁTICOS

Para poder realizar el cálculo de los cilindros neumáticos se deben considerar:

1. El peso a desplazar por el cilindro.
2. La longitud que recorrerá el vástago.
3. La gravedad, ya que esta afecta al trabajo realizado por el actuador.

Teniendo en cuenta estas variables se deberá calcular. Creus (2016).

Fuerza:

$$F = m * G \quad (1)$$

Dónde: m = masa a desplazar [Kg] y G = gravedad [$\frac{m}{s^2}$].

Sección de avance (anterior): para el cálculo de la sección de avance se utiliza la Ecuación 2.

$$S_{avance} = \frac{\pi \cdot \Phi_e^2}{4} \quad (2)$$

Sección de retroceso (posterior): para la sección de retroceso empleamos la Ecuación 3.

$$S_{retroceso} = \frac{\pi \cdot \Phi_e^2}{4} - \frac{\pi \cdot \Phi_v^2}{4} = \frac{\pi \cdot (\Phi_e^2 - \Phi_v^2)}{4} \quad (3)$$

Dónde: para ambas formulas

Φ_e = Diámetro del émbolo

Φ_v = Diámetro del vástago



$$V_{ret} = S_{ret} * C = (100.530) * (260) = 26\ 137.8\ mm^3 \rightarrow 0.0261\ L \quad (13)$$

Al sustituir los valores de ecuaciones 12 y 13 en ecuación 6, se obtiene ec.14

$$V_T = V_{av} + V_{ret} = (29\ 405.22) + (26\ 137.8) = 55\ 543.02\ mm^3 \rightarrow 0.0555\ L \quad (14)$$

Al sustituir el valor de ecuación 14 y el tiempo de operación del cilindro en ec.7, se obtiene ec.15.

$$Q = \frac{V_T}{T} = \frac{(0.0555\ L)}{(0.0666\ min)} = 0.8333\ L/min \rightarrow 0.2201\ gpm \quad (15)$$

CILINDRO PARA DESPLAZAMIENTO VERTICAL DE LA PANTALLA

Se estima que todo el cabezal de la maquina donde se colca la pantalla, mismo que es levantado por un pedal ubicado en la parte inferior de la maquina tiene un peso aproximado de 20 kg y que el cilindro deberá tener una carrera de 85mm. Sustituyendo valores en la ecuación 1, se obtiene la ecuación 16.

$$F = (25\ kg) * (9.81\ m/s^2) = 245.25\ N \quad (16)$$

De acuerdo a los valores de ec.16, se tienen los valores de ec.17

$$\phi_v = 10\ mm \quad \phi_e = 25\ mm \quad (17)$$

Sustituyendo los valores de ec.17 en ec. 2 se obtienen las ecuaciones 18 y 19

$$S_{av} = \frac{\pi \cdot \phi_v^2}{4} = \frac{\pi \cdot (10)^2}{4} = 78.5398\ mm^2 \quad (18)$$

$$S_{ret} = \frac{\pi \cdot (\phi_e^2 - \phi_v^2)}{4} = \frac{\pi \cdot ((25)^2 - (10)^2)}{4} = 412.334\ mm^2 \quad (19)$$

Sustituyendo los valores de ecuaciones 18, 19 y la carrera del pistón en ecuación 4 y 5, se obtienen ecuaciones 20 y 21.

$$V_{av} = S_{av} * C = (78.5398) * (85) = 6675.88\ mm^3 \rightarrow 0.006676\ L \quad (20)$$

$$V_{ret} = S_{ret} * C = (412.334) * (85) = 35\ 048.39\ mm^3 \rightarrow 0.0350\ L \quad (21)$$

Al sustituir los valores de ecuaciones 20 y 21 en ec.6, se obtiene ec.22

$$V_T = V_{av} + V_{ret} = (6675.88) + (35\ 048.39) = 41\ 724.27\ mm^3 \rightarrow 0.0417\ L \quad (22)$$

Al sustituir el valor de ec. 22 y el tiempo de operación del cilindro en ec. 7, se obtiene ec. 23.

$$Q = \frac{V_T}{T} = \frac{(0.0417\ L)}{(0.133\ min)} = 0.3135\ L/min \rightarrow 0.0825\ gpm \quad (23)$$

CILINDRO CON INYECCIÓN DE AIRE A PRESIÓN

Este cilindro no cargara ninguna fuerza, en cambio tendrá que mantener la botella en su posición una vez esta sea colocada, también tendrá que inyectar suficiente aire a presión para eliminar las imperfecciones de las botellas. La carrera total de este pistón será de 30mm, la presión desarrollada será de 3 a 4 bar. Sánchez (2009).

CILINDROS PARA RACERO Y ESPÁTULA

Estos cilindros no cargaran fuerzas, en cambio deberán ejercer poca presión para que al momento de pasar sobre la pantalla puedan realizar bien su función que será imprimir o colocar tinta. Estos tendrán una carrera total de 40mm. Ver ecuación 24.

Diámetro del vástago y embolo:

$$\phi_v = 4\ mm \quad \phi_e = 12\ mm \quad (24)$$

Sustituyendo los valores de ec. 24 en ec. 2 se obtienen ecuaciones 25 y 26.

$$S_{av} = \frac{\pi \cdot \phi_v^2}{4} = \frac{\pi \cdot (4)^2}{4} = 12.5664\ mm^2 \quad (25)$$

$$S_{ret} = \frac{\pi \cdot (\phi_e^2 - \phi_v^2)}{4} = \frac{\pi \cdot ((12)^2 - (4)^2)}{4} = 100.530\ mm^2 \quad (26)$$

Sustituyendo los valores de ecuaciones 25 y 26 y la carrera del pistón en ecuaciones 4 y 5, se obtienen las ecuaciones 27 y 28.

$$V_{av} = S_{av} * C = (12.5664) * (40) = 502.656\ mm^3 \rightarrow 0.000503\ L \quad (27)$$

$$V_{ret} = S_{ret} * C = (100.530) * (40) = 4\ 021.2\ mm^3 \rightarrow 0.00402\ L \quad (28)$$

Al sustituir los valores de ecuaciones 27 y 28 en ec. 6, se obtiene ec. 29.

$$V_T = V_{av} + V_{ret} = (502.656) + (4\ 021.2) = 4\ 523.856\ mm^3 \rightarrow 0.004524\ L \quad (29)$$

Al sustituir el valor de ec. 29 y el tiempo de operación del cilindro en ec. 7, se obtiene ec.30



$$Q = \frac{V_T}{T} = \frac{(0.00854 L)}{(0.0233 \text{ min})} = 0.256 L/min \rightarrow 0.0676 \text{ gpm} \quad (30)$$

DIAGRAMA DE CONEXIÓN ELÉCTRICO

Para realizar el diagrama eléctrico se usó el software Automation Studio 5.0, que como se puede observar en la Figura 2. El diagrama está dividido en 2 partes, la primera parte es el circuito de operación automática y la segunda es el circuito de operación manual.

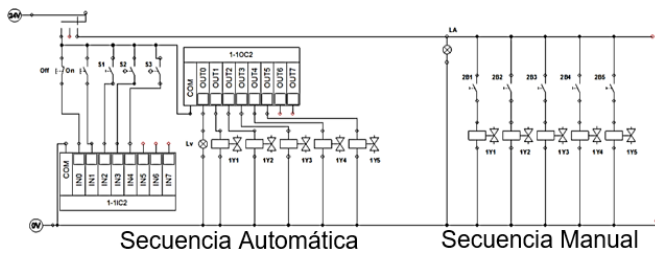


Figura 2. Diagrama de conexión Eléctrico

DIAGRAMA DE CONEXIÓN NEUMÁTICA

De igual manera, para realizar el diagrama y simulación neumática que se puede observar en la Figura 3. Se empleó el software Automation Studio 5.0. Este consiste en 5 pistones. Tutosaus (2019).

1. Pistón de elevación vertical de la pantalla.
2. Pistón de desplazamiento horizontal de la pantalla.
3. Pistón de inyección de aire a presión.
4. Pistón de movimiento del rasero.
5. Pistón de movimiento de la espátula.

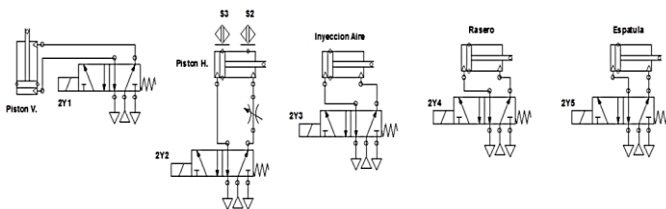


Figura 3. Diagrama de Conexión Neumática

PROGRAMACIÓN DEL CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)

Ya que se tiene la lista de asignación, se puede iniciar la programación del PLC, esta se realizó en el software LogixPro, con el simulador de entradas y salidas para poder apreciar más fácilmente (Tabla 1,2), que en efecto, el programa realiza lo que se desea (Figura 5). Millar (1998).

PROTOTIPO DE MAQUINA SEMIAUTOMÁTICA

A continuación, en la Figura 4. Se puede observar la propuesta de las modificaciones que se harán a la máquina y donde se colocarán los dispositivos seleccionados para las mismas.

Tabla 1. Asignación de entrada

Asignación	Dispositivo	Dispositivo
I:1/0	Botón de Arranque	Botón Pulsador N/A
I:1/1	Botón de Paro	Botón Pulsador N/C
I:1/2	Sensor Botella	Sensor de presencia
I:1/3	Limite Pistón Horizontal	Detector magnético
I:1/4	Inicio Pistón Horizontal	Detector magnético

Tabla 2. Asignación de salidas

Dirección	Uso	Descripción
O:2/0	Indicador Encendido de la maquina	Indicador luminoso
O:2/1	Pistón Vertical	Electroválvula 5/2
O:2/2	Pistón Horizontal	Electroválvula 5/2
O:2/3	Pistón Inyección Aire	Electroválvula 5/2
O:2/4	Pistón Rasero	Electroválvula 5/2
O:2/5	Pistón Espátula	Electroválvula 5/2

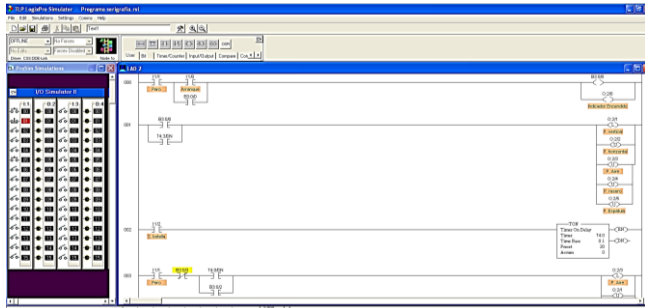


Figura 4. Pantalla de Inicio LogixPro

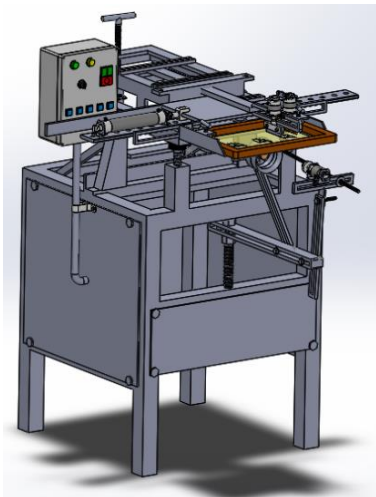


Figura 5. Propuesta Máquina Semiautomática

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los cálculos nos permiten obtener un cilindro neumático para el movimiento horizontal con una capacidad de desplazamiento de 0.02611 y una presión de 6 bares, así mismo, el cilindro para el desplazamiento vertical tendrá una presión de 6 bares y un desplazamiento de 0.4171 en el avance, el cilindro para inyección de aire a las botellas desplazara aire a una presión de 4 bares, los cilindros para rasero y espátula desplazaran 0.004521 de aire a una presión de 4 bares, con esta información elaboramos el diagrama neumático, posteriormente elaboramos el diagrama eléctrico utilizando el software Automation Studio 5.0, el diagrama lo dividimos en dos partes, una es el circuito de operación automática y otra de la operación manual, el diagrama de conexión neumática considera 5 pistones a saber: de elevación vertical, de pantalla, de desplazamiento horizontal de pantalla, de inyección de aire a presión, de movimiento de rasero y de movimiento de la espátula, aplicamos un controlador lógico programable ayudándonos del software LogixPro, mediante simulación obtenemos un acierto ya que funciona de acuerdo a lo sperado, finalmente podemos elaborar una propuesta mediante un programa de diseño en 3D con simulador.

CONCLUSIONES

Se obtuvo a través de los cálculos matemáticos, el razonamiento crítico, el modelado matemático, el empleo de software especializado y la selección de componentes llegar a una propuesta viable de automatización de la maquina planteada.

La automatización de la maquina serigráfica planteada, aumentará la producción de la empresa al hacer que la línea de producción o impresiones sea constante, al remplazar parcialmente el elemento humano, el operario solo tendrá que colocar y retirar las botellas, lo que reducirá al mínimo el esfuerzo físico. Así mismo los costos de producción se reducirán, lo que puede reflejarse en mayores ganancias para la empresa.

El margen de reducción de retrabajos es el punto en el que más se impactara en este proyecto, ya que este puede llegar a ser de hasta un 10 a 30%, de la producción total, este problema se solucionará con la inyección de aire a presión y permitirá que se reduzca en gran medida las perdidas monetarias y costos de producción.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- Balcells J. (2016), *Autómatas Programables*. México: Alfaomega.
- Creus A. (2019), *Neumática e Hidráulica*. México: Alfaomega.
- Millor N. (1998), Elementos de un proceso a automatizar. [En línea] Disponible en: http://www.infopl.net/files/documentacion/automatas/infoPLC_net_Teoría_iniciacion_Automata.pdf.
- Sánchez R. (2009), Ingeniería de máquinas. [En línea] Disponible en: http://www.uhu.es/rafael.sanchez/ingenieriamaquinas/carpetaapunt es.htm/Trabajos%20IM%202009-10/Carlos%20Tutosaus-introduccion_automatizacion.pdf.
- Soria S. (2018), *Sistemas Automáticos Industriales de Eventos Discretos*. México: Alfaomega.
- Tutosaus C. (2019), Introducción a la automatización. [En línea] Disponible en: <http://www.herrera.unt.edu.ar/eiipc/material/apuntes/Automatas%20Programables.pdf>.

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Ricardo Navarro Soto: Ingeniero Mecánico egresado de la Escuela superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional, Maestro en Ingeniería Mecánica en energética, por la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la ESIME Zacatenco, profesor investigador de tiempo completo y exclusivo en el IPN.

María de Jesús Velázquez Vázquez: Licenciada en Economía por la Escuela Superior de Economía del Instituto Politécnico Nacional, Maestría en ciencias en educación y especialista en finanzas, Candidata a Doctor en Ciencias en Ingeniería de Sistemas por la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la ESIME Zacatenco, profesora investigadora de tiempo completo y exclusivo en el IPN.



Juan Daniel Rivas Martínez: Ingeniero Mecánico egresado de la Escuela superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional, Experto en Manufactura, profesor de tiempo completo en el IPN.

Martín Dario Castillo Sánchez: Ingeniero Mecánico egresado de la Escuela superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional, Maestría en Ingeniería Mecánica en diseño mecánico, por la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la ESIME Zacatenco, Doctorado en ciencias en ingeniería mecánica por la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la ESIME Zacatenco, profesor investigador de tiempo completo y exclusivo en el IPN.





Modelo de Simulación Industrial para carga y descarga de desechos ambientales basado en camiones

***Carlos Roberto Ibáñez Juárez¹, Nancy Roxana Ruiz Chávez², Laura Leticia Vélez Hernández³,
Beatriz Aguilar Romero⁴, Aranza Dehesa Cabrera⁵***

RESUMEN

Este proyecto aborda temas como los sistemas, modelos y control en materia de simulación, involucrando la generación de números aleatorios, pruebas estadísticas de aleatoriedad, etc, aplicados en una problemática real de índole empresarial e industrial, proponiendo con ayuda de los temas anteriormente mencionados, una solución que nos permita cumplir con el objetivo a conseguir. Tal situación en el presente proyecto es que la empresa promotora ambiental "PASA S.A. de C.V" encargada de la recolección de desechos de diferentes puntos en la ciudad de Puebla, conlleva salidas de camiones de carga "ROLLOFF", la organización, nos comentó que hay salidas de camiones que siguen una misma ruta y estos descargan por día en un solo punto de descarga de desechos, el inconveniente de esta situación es que siempre hay camiones en espera, lo que provoca un cierto retraso en las llegadas, es por ello que se propuso generar la inclusión de otro servidor que nos permitirá las llegadas de más camiones, es decir, otro punto de descarga en la ciudad de Puebla para los desechos, involucrado el nuevo servidor, se nos permitió a través de gráficos estadísticos observar cómo nuestro modelo de simulación se estabiliza, y genera una gestión más ágil en la organización, permitiendo un trabajo más eficiente para la promotora ambiental "PASA S.A. de C.V".

ABSTRACT

This project addresses issues such as systems, models and control in simulation, involving the generation of random numbers, statistical tests of randomness, etc., applied in a real business and industrial problem, proposing with the help of the aforementioned topics, a solution that allows us to meet the objective to be achieved. Such a situation in the present project is that the company environmental promoter "PASA S.A. de C. V" in charge of waste collection from different points in the city of Puebla, involves departures of "ROLLOFF" cargo trucks, the organization, told us that there are departures of trucks that follow the same

1,2,3,4,5. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Docentes de la Facultad de Ingeniería del Departamento de Ingeniería Industrial. Mails: carlos.ibanez@correo.buap.mx, nroxana.ruiz@correo.buap.mx, laura.velez@correo.buap.mx, beatriz.aguilar@correo.buap.mx
Carlos Roberto Ibáñez Juárez: Ingeniero Mecánico por ESIME, Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecánica por Universit  de Sherbrooke y Candidato a Doctor por el Tecnológico de Pachuca.

route and these unload per day in a single point of waste unloading, the drawback of this situation is that there are always trucks waiting, which causes a certain delay in the arrivals, That is why it was proposed to generate the inclusion of another server that will allow us the arrivals of more trucks, ie, another point of discharge in the city of Puebla for waste, involved the new server, we were allowed through statistical graphs to observe how our simulation model is stabilized, and generates a more agile management in the organization, allowing a more efficient work for the environmental promoter "PASA S. A. de C.V".

Palabras claves: Simulación Industrial, Modelos Estocásticos,

ANTECEDENTES DE LA SIMULACIÓN

El origen de la simulación se remonta a la Segunda Guerra Mundial, cuando los matemáticos J.V. Neumann y S.Ulam fueron desafiados a resolver problemas complejos, incluido el comportamiento de los neutrones. El enfoque que eligieron se basa en el uso de números aleatorios y distribuciones de probabilidad.

Durante la Guerra Fría se intensificó el uso de la simulación para resolver problemas de interés militar; trayectorias y dinámicas de satélites artificiales, guiar misiles, etc, García (2013).

Desde la década de 1960, los programas de simulación de sistemas de eventos discretos han aparecido en el mercado y se están utilizando gradualmente para resolver problemas en el sector privado. En la segunda mitad de los 80 la simulación se asentó definitivamente gracias en gran parte a la aparición de las computadoras personales y la animación Barceló (1996).

Ahora que las simulaciones son realizadas por computadoras y software específico, que son técnicas poderosas para resolver problemas del mundo real, y modelos numéricos experimentados, las características del sistema se pueden obtener a partir de los resultados de la estimación.

El problema de este proyecto es saber cómo funciona la organización de la empresa en camiones Promotora Ambiental PASA S.A. de C.V, siguiendo una misma ruta, descargando alrededor de 7 camiones por día, el problema que se quiere resolver de esta situación es que siempre hay camiones en espera, lo que provoca retraso en las llegadas, es por ello que se propuso generar la inclusión de dos servidores que nos permitirá las llegadas de más camiones, nuestro objetivo es crear un modelo de simulación que establezca y genere una gestión más ágil en la organización, permitiendo un trabajo más eficiente.





RECOLECCIÓN DE DESECHOS

La recogida de los residuos consiste en su recolección para efectuar posteriormente su traslado a las plantas de procesado y tratamiento. El proceso de recolección de basura se divide en tres fases: el depósito y la recogida, el transporte, y el tratamiento. Cada municipio ofrece a sus habitantes el servicio de recolección de basura de forma gratuita, este pasa periódicamente por las colonias para recoger los residuos de los hogares. Cabe mencionar que, en ese tipo de servicio, la recolección no es selectiva.

Además del servicio municipal, existen empresas que ofrecen un servicio especial de recolecta de residuos según sus necesidades para ser tratados, porque hay algunos que serán reciclados y otros que son peligrosos. Por ello es importante conocer los tipos de residuos que existen, así como su clasificación según sus características y origen, por su composición, etc. Este saber contribuye a un buen proceso de recolección de basura y a la prevención de accidentes.

Clasificación de la basura por sus características y origen

Residuos sólidos urbanos (RSU). son generados en los hogares a partir de los desechos de las actividades domésticas, por ejemplo: los productos de consumo y sus envases. También, los residuos generados de cualquier otra actividad que se desarrolle dentro de los establecimientos o en la vía pública, siempre y cuando no manejen residuos de otro tipo de clasificación. **Residuos de manejo especial (RME).** La LGPGIR define los RME como aquellos generados en los procesos productivos que no reúnen las características para ser considerados RME o RP, o que son producidos por grandes generadores de residuos urbanos.

Residuos peligrosos (RP) Los residuos peligrosos son aquellos que poseen alguna de las características: corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o ser biológico o infeccioso; lo que les confiere peligrosidad. También los envases, embalajes y suelos que hayan sido contaminados, deben ser tratados de acuerdo al criterio de los RP. La NOM-052-SEMARNAT-2005 establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de residuos peligrosos.

La empresa mexicana Promotora Ambiental (PASA) presta servicios de recolección, manejo y disposición de residuos, reciclaje y tratamiento de aguas residuales en todo el país. También se dedica a la biotecnología, manejo de residuos derivados de la perforación de pozos petrolíferos, recolección privada, recolección doméstica, rellenos sanitarios, transferencia de residuos, centro de reciclaje PET, desmantelamiento de barcos, servicio a la industria petrolera. Es una empresa que opera principalmente en el sector Aguas y Residuos. Conecta con sus contactos clave, proyectos, accionistas, noticias relacionadas y más. Esta empresa cuenta con operaciones en México. Algunos temas relacionados a sus desarrollos son: Residuos industriales, Plantas de tratamiento de residuos, Empresa de Agua y Alcantarillado, Rellenos sanitarios, Biomasa, Gestión de residuos, Residuos, Residuos peligrosos, Remediación y Reciclaje.

Se desea simular la salida y descarga de ROLLOFF (camiones de basura) de empresa Promotora Ambiental PASA S.A. de C.V. ubicada en Puebla, para determinar el número promedio de camiones de basura que se retrasan por la ruta de servicio, por ello se realizó un modelo en donde cuenta con dos servidores.

MODELO DE SIMULACIÓN A UTILIZAR

Para este proyecto se utilizó Tchebycheff esta es una teoría utilizada en estadística que proporciona una estimación conservadora (intervalo de confianza) de la probabilidad de que una variable aleatoria de varianza finita se encuentre dentro de una cierta distancia de la media aritmética o esperada.

El teorema de Tchebycheff es una desigualdad de probabilidad, da un límite superior a la probabilidad de desviación absoluta de una variable correspondiente o aleatoria de su medición. En general, el teorema de Tchebycheff se usa para medir la dispersión de datos para cualquier distribución Burbano (2014). Y se utiliza al no cumplir la normalidad de los datos en su comportamiento estadístico. En la parte aleatoria se manejan las entradas y salidas a partir de tiempos aleatorios debido a que no muestran un comportamiento normal Shannon (1988), y se toma el modelo de 1 servidor para su simulación Fig. 1.

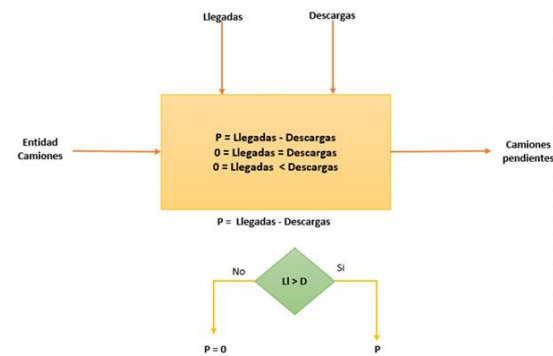
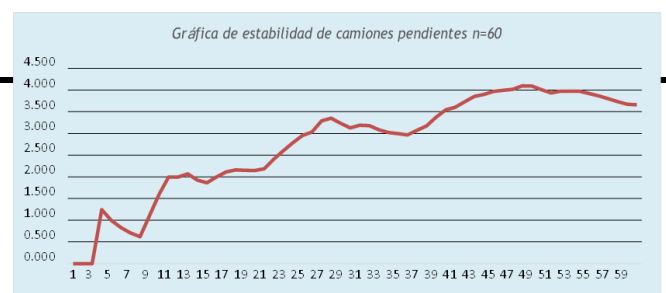


Fig. 1 Modelo matemático de carga y descarga

Se desea simular la salida y descarga de ROLLOFF (camiones de basura) de empresa Promotora Ambiental PASA S.A. de C.V. ubicada en Puebla, para determinar el número promedio de camiones de basura que se retrasan por la ruta de servicio, se observa el modelo con un servidor proporcionado por la empresa. En el cual determinaremos que tan estable se encuentran sus salidas y descargas de camiones.

Se realiza la observación de 60 muestras en las cuales se calculan las salidas, descargas y pendientes de la empresa Promotora Ambiental y así observar el comportamiento del modelo y calcular la longitud de la réplica, basados en la estabilidad del modelo de 1 servidor Gráfica 1.





Gráfica 1 Estabilidad de embarques 1 servidor

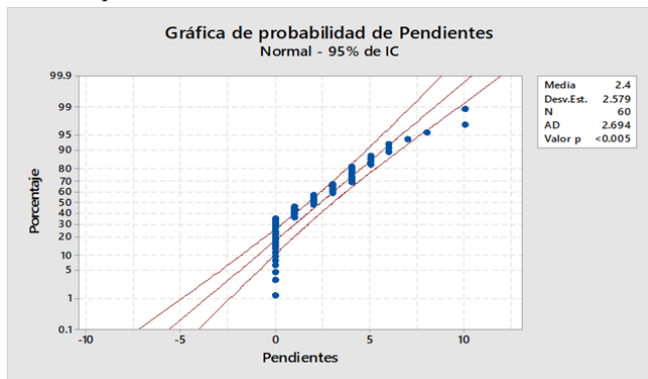
Se analizan los datos a partir de una prueba de normalidad, para realizar una gráfica de probabilidad y así poder decidir el comportamiento de los datos y obtener el número de replicas para poder estabilizar el modelo Gráfica 2.

Se plantea hipótesis:

Ho: Si los pendientes cumplen un supuesto de normalidad.

Aplicamos T; El valor de P mayor que alfa

H1: No cumple una distribución normal, aplicamos a Tchebycheff P menor que alfa.



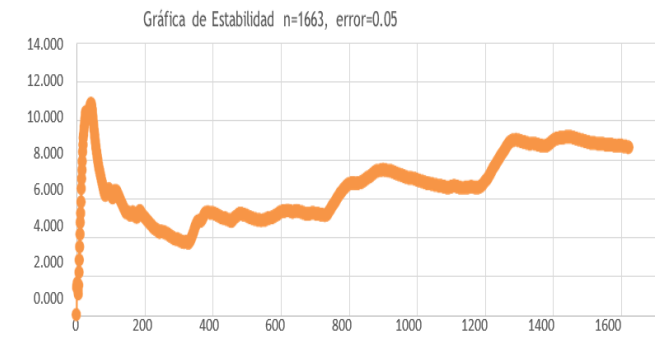
Gráfica 2 Prueba de normalidad para descarga de camiones

De acuerdo a los resultados de la gráfica se determina que se rechaza Ho si P es mayor que alfa y se aplica Tchebycheff. Conclusión: para el tamaño de la réplica es necesario utilizar a Tchebycheff. Y se procede a la realización del cálculo para la longitud de la réplica. Se ocupa un Alfa de 0.5 para estabilizar el número de replicas para el modelo. Tabla 1

Tabla 1 Valores para longitud de réplica

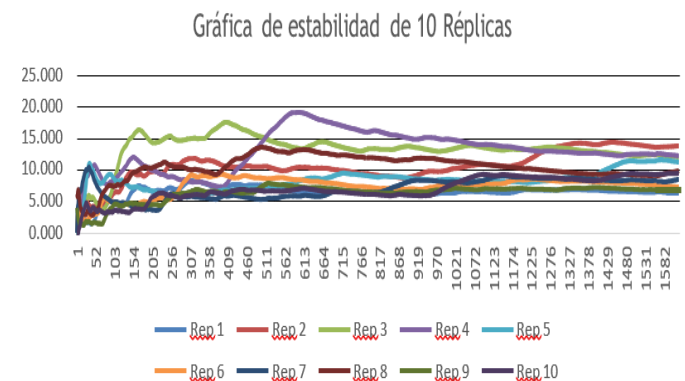
Alfa	0.05
Error	0.1
Desv. Std	2.579
No. Réplicas	1663

Se obtiene como resultado una longitud de 1663 réplicas para poder estabilizar el modelo. Con estos valores se procede a realizar la gráfica de estabilidad del modelo Gráfica 3 Observando la siguiente gráfica el modelo Tchebycheff para los pendientes en camiones, con n= 1663, se presenta de la siguiente manera:



Gráfica 3 Estabilidad del modelo

Considerando la estabilidad del modelo a 1663, se realizan 10 réplicas en la simulación, lo requerido para generar un intervalo de confianza Ross (2009) y determine la cantidad de descargas de los camiones pendientes Gráfica 4.



Gráfica 4 Réplicas del modelo

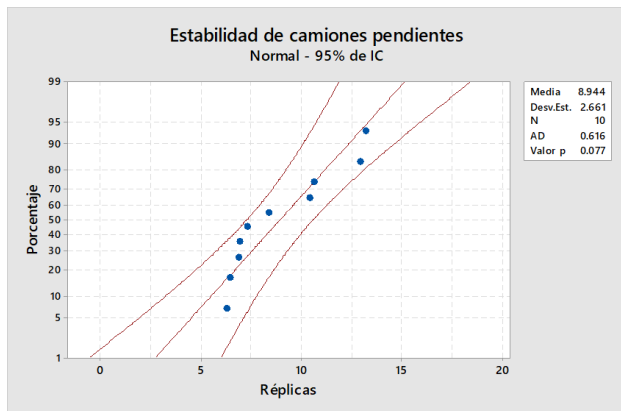


A partir de las réplicas, se realiza una prueba de hipótesis para determinar si cumplen el supuesto de normalidad los datos y a partir de ahí generar un intervalo de confianza que nos determine cuantos camiones se descargan por turno y si las instalaciones cumplen con esa capacidad como una proyección a futuro. La prueba de hipótesis a plantear es la siguiente:

Ho. Los datos cumplen un supuesto de normalidad.

H1. Se comportan como una distribución que no es la normal.

Se realiza la prueba de hipótesis con un nivel de significancia del 5%, dando como resultado la gráfica de estabilidad:



Gráfica 5 Normalidad de 10 réplicas

La Gráfica 5 nos indica que los datos cumplen un comportamiento normal, por lo que se realiza el Intervalo de confianza para determinar la capacidad de la carga y descarga, así como de los camiones pendientes por descargar, basados en los datos de la Tabla 2 se realiza el cálculo:

Tabla 2 Intervalo de confianza

Calcular nuestro intervalo de confianza	
Alfa	0.05
Desv. Std	2.6610
n	10.000
Valor de t	2.2622
Promedio	8.944
Error	1.9036
IC superior	10.8476
IC Inferior	7.0404

DISCUSIÓN Y RESULTADOS

Una vez aplicado nuestro modelo correspondiente (Tchebycheff), se determina que era ideal la realización e implementación de un servidor más, fue así como se propuso para ser más concretos a un punto extra de descarga, que nos permitiera no tener camiones en espera, pues resulta conveniente tal plus debido a que permite un funcionamiento más eficaz de sus operaciones, esta decisión

también conlleva un costo extra para la empresa, pero resulta útil, ya que su trabajo de moviliza y no tendría camiones detenidos o materia esperando, sin embargo es necesario un análisis de costos para determinar su viabilidad.

CONCLUSIONES

La Promotora Ambiental PASA S. A. de C. V., tiene un problema respecto a sus operaciones, porque si bien está operando, lo está haciendo de una manera poco eficiente, el siempre tener camiones pendientes ocasiona un mal flujo de actividades, retraso en los desechos, lo que genera pérdidas, ya que se les paga tiempo extra a los choferes por esperar a que descargue el camión anterior, o simplemente órdenes perdidas, ordenes que pudieron ser un ingreso más, y el hecho de que siempre tengan pendientes y no tengan la posibilidad de otra descarga hará que se pierdan clientes, ya que no le conviene a un cliente estar esperando por largos lapsos de tiempo y estar siempre retrasado.

Nuestra propuesta de añadir un nuevo punto de descarga, genera un gasto, pero es más conveniente invertir en este ya que da origen a un trabajo ideal que opera todo el tiempo sin paradas continuas, sin retrasos que generen gastos, sino que tendrán una buena y eficaz capacidad de operación, e inclusive podrán permitirse más descargas, dando origen a liberar espacios en los que se pueden añadir más clientes y por ende conseguir más utilidades

REFERENCIAS

- [1] García D. Eduardo, García R. Heriberto, Leopoldo E. Cárdenas Barrón. (2013). Simulación y análisis de sistemas con ProModel. Segunda edición, Pearson. México.
- [2] Barceló Jaime (1996). Simulación de sistemas discretos. Primera edición, Isdefe. España.
- [3] Burbano Pantoja Víctor Miguel A., Valdivieso Miranda Margoth A., Salcedo Plazas Luis A. (2014). Primera edición, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Colombia.
- [4] Shannon E. Robert (1988) Simulación de sistemas: Diseño, desarrollo e implantación. Primera edición, Trillas. México.
- [5] Ríos Insua David, Ríos Insua Sixto. (2009) Simulación: Métodos y aplicaciones. Segunda edición, Alfaomega. México.
- [6] Ross M. Sheldon (2009) Simulación. Segunda edición, Prentice Hall. México.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo desean agradecer a la Promotora Ambiental PASA S. A. de C.

V. y al Gerente de Mantenimiento Héctor Oscar Vergara Ramírez, por permitirnos el acceso a los datos de su empresa referentes a las salidas y descargas de sus camiones y conocer la estabilidad y modelos que manejan actualmente, sobre todo por permitirnos proponer una mejora a su empresa.



La amenaza de las cadenas de suministro rotas

Samuel Garrido Roldán, Gisela Janeth Espinosa Martínez, Raúl Rodríguez Moreno

RESUMEN

El objetivo de esta investigación es analizar el tema de las cadenas de suministro y su fragilidad en el contexto global, los datos para el trabajo se obtuvieron de sitios Web, revistas y periódicos que abordaron el tema desde marzo 2020 hasta enero 2023, al igual que las ediciones del Banco Mundial donde se obtuvieron los exportadores globales, con base en dicha información se construyeron tablas con elementos que impactaron a algunos países y mediante el análisis comparativo se obtuvieron algunas cifras del impacto que tuvo el rompimiento de las cadenas de abastecimiento, los resultados muestran que los ítems que influyeron en el quebranto a las cadenas de suministro, fueron entre otros; los brotes de Covid-19, el congestionamiento de los puertos, falta de contenedores vacíos, inundaciones en China y Alemania y los ciberataques en Sudáfrica. Una de las implicaciones de este trabajo es que la incertidumbre no permite saber cuándo se restablecerán al 100% los procesos afectados por el resquebrajamiento de las cadenas de suministro.

ABSTRACT

The research aim is to analyze the supply chain's issues and their fragility in the global context of supplying, data source come from websites, magazines and newspapers that addressed the issue from March 2020 to January 2023, as well as the editions of the World Bank where global exporters were obtained, based on this information, tables were built with elements that impacted some countries and through comparative analysis, some findings in broken supply chains were discovered, the results showed some items influenced the supply chain's break down among others; Covid-19 outbreaks, ports congestion, lack of empty containers, floods in China and Germany and cyberattacks. One implication of this research is that uncertainty does not allow us to know when processes affected by the breakdown of supply chains will be restored to 100%.

Palabras claves: Fragilidad de cadenas de suministro, congestionamiento de puertos, contenedores vacíos, ciberataques.

Samuel Garrido Roldán, Tecnológico Nacional de México, Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco, samuel.sub.a@tesco.edu.mx
Gisela Janeth Espinosa Martínez, Tecnológico Nacional de México, Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco, gisela.sub.a@tesco.edu.mx
Raúl Rodríguez Moreno, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Escuela Superior Tlahuelilpan, raulrm@uaeh.edu.mx.

INTRODUCCIÓN

La conclusión de la pandemia del Covid-19, sugirió a los investigadores y académicos a explicar las causas que originaron el colapso de las cadenas de suministro globales, que colocaron al mundo en situación de desabasto de productos de diversa índole, desde comestibles, combustibles, automotrices, industrias de medicamentos y otros (Forbes-Staff, 2021). En este contexto esta investigación analiza la fragilidad de las cadenas de suministro globales y las causas que influyeron en su colapso, en un principio la caída en la producción fue inducida con la idea de que la demanda global tendría una desaceleración del consumo, sin embargo con el avance de la pandemia surgieron otros problemas, como la falta de personal para operar las fábricas, o para trasladar las mercancías a los puertos, en otras ocasiones a los barcos que llegaban de otras latitudes no les permitían atracar por temores de contagio, finalmente emergió el problema de la falta de capacidad de manejo de los contenedores en los puertos de arribo de mercancías (Geopolitical-Futures, 2022). Otro evento que resultó un desastre fue el atascamiento y bloqueo del canal de Suez por uno de los mayores barcos portacontenedores del mundo el Ever Given, durante seis días, desquició el transporte marítimo global, con un costo comercial de 10,000 millones de dólares por día (Yee & Glanz, 2021), lo que dio como resultado el rompimiento de las cadenas de suministro globales. La línea de este trabajo se orienta a mostrar las causas registradas de los fallos en las cadenas de suministro globales; pero también analizar si tal fragilidad ha mejorado en la etapa post covid-19; por otro lado, se discuten algunos de los riesgos asociados a las cadenas de suministro que las hacen vulnerables.

ANTECEDENTES.

Algunos eventos con las cadenas de suministro que tuvieron repercusión global con antelación al covid-19 ya se habían mostrado con anterioridad, aunque su impacto no fue devastador, si tuvo afectaciones sobre industrias específicas, por ej. El embargo del petróleo árabe, que incrementó los precios de \$2.90 a \$11.65 por barril, afectó toda la cadena de producción sin importar la ubicación geográfica de las industrias que no pudieron mantener la competitividad de sus productos y algunas cerraron por un tiempo (Federal-Reserve-History, 1973). Por otro lado, también los eventos naturales son causas de desastres como el terremoto de la ciudad Japonesa de Kobe, que fue afectada por un terremoto de 7.2 en escala de Richter, el puerto era el sexto en el mundo en manejo de contenedores y movía el 39% de productos industriales Japoneses para el mundo, los daños de infraestructura afectaron las cadenas de suministro ya que fue cerrado (Horwich, 2000), en la misma línea de eventos catastróficos en Japón, otro temblor ocurrido en la región de Fukushima dejó fuera de servicio la planta





de químicos de Merck en la ciudad de Onahama, donde se fabricaban pinturas con un pigmento especial para el brillo en el acabado de los autos, lo que causó un impacto en la producción de la industria automotriz, particularmente Ford y Chrysler fueron los afectados por este evento (Moore, 2020), el mismo meteoro impactó las cadenas de abastecimiento de las autopartes, acusando paralización de la industria, especialmente a Toyota Motor Corp. porque el modelo de producción Just in time que utilizaba no permitía acumular materiales para producir, lo que se convirtió en una debilidad porque no había stock de salvamento (Tajitsu, 2016). Otros antecedentes de distintos orígenes que han colapsado las cadenas de suministro globales son las guerras por el petróleo (Morales & Geary, 2003), guerras por las minas en la extracción de recursos como los diamantes; al respecto Yumeen (2020), y el Fondo Monetario Internacional realizaron una narrativa del colonialismo y neocolonialismo de algunos países que se apropiaron de las riquezas de Sierra Leona y como una huelga afectó a los clientes de estos productos en el mundo, el platino (Nkosi, 2014), el cobre; Dorn, (2022) narra el colapso que tuvo la industria del armamento en los Estados Unidos de Norte América cuando Chile sin aviso canceló los contratos de compra venta de cobre, amenazando con la nacionalización de las minas de ese material. Finalmente se agrega uno de los elementos noveles que ya antes de la pandemia había causado el rompimiento de algunas cadenas de suministro y afectado a industrias completas con impactos en clientes finales, se trata de los Ciberataques; Uno de los cuales los sufrió la corporación Sony Pictures, Peterson (2014) hace una narrativa de como ocurrió, quien lo perpetró y una posible causa, al final resultaron afectados trabajadores de la compañía, y al exponerlos se abortaron algunos proyectos futuros con afectaciones económicas relevantes. Este pequeño recorrido sobre las fracturas de las cadenas de suministro globales, muestra que en la pre pandemia ya se observaban estos fenómenos, solo que aparecían como hechos aislados, sin suficiente difusión ni medición de impactos, sin embargo durante la vigencia del COVID 19, estos hechos fueron vigilados y tuvieron enfocados los reflectores en ellos, como lo comentó Moore (2020) en su trabajo: “COVID-19 ha puesto de relieve la interrupción de la cadena de suministro, pero la falla no es un fenómeno nuevo.”

DESARROLLO.

Estatus de las cadenas de suministro actual, se considera a partir Marzo 2022, cuando empezaron a liberarse las restricciones por la pandemia. Uno de los trabajos relevantes sobre el tema lo realizó LaRocco (2022), donde muestra de manera gráfica como se iba liberando la producción, la transportación y el embarque de los productos manufacturados en China. Por otro lado el artículo publicado por He (2022) trata sobre el apiñamiento de los puertos en China, comentando que el 20% de los buques portacontenedores globales experimentaban esperas por congestión de puertos, esto es de un total de 799 millones de Teus¹ globales el

20% representaba cerca de 200 millones de Teus detenidos por falta de capacidad de puertos (UNCTAD., 2022). Algunas de las organizaciones que seguían la evolución de la pandemia, pronosticaban que el fin de la problemática mundial estaba por llegar concluir y hasta adelantaban algunas tendencias, tal fue el caso de Aronow (2022) quien señaló a la salud, como una de las áreas de mayor pujanza en la era pospandemia, la planeación fue otro componente destacado de la cadena de suministros y finalmente la adaptabilidad como elemento crucial en la cadena de abastecimientos, otro de los aspectos que generaban algún desasosiego fue hasta cuando iniciaría la apertura de los centros de trabajo Chinos para que el flujo de productos empezara a circular, Lee (2022) realizó una descripción detallada de la apertura de la planta productiva China, si bien es cierto que no fueron todas las industrias y que más tarde algunas serían castigadas con la política zero covid. Finalmente la revisión de las fuentes aborda el estadio de las posibles soluciones para la problemática abordada y algunos como Garrison (2023) adelantan la recuperación de las cadenas se suministro centrándose en la aplicación de las herramientas para la gestión de la cadena de suministro y su énfasis es hacia la relocalización de plantas que hoy están en lugares alejados de los centros de consumo, con el tiempo se descubrirá que tan acertadas y realistas fueron las medidas propuestas. Ahora entramos a la fase del detalle de los hallazgos de este trabajo, de cada uno se abordan los elementos principales que lo conforman.

(1) Pandemia:

Cierre de fábricas, el cierre de éstas se dio en dos etapas, cuando se dictaminó la pandemia por la OMS particularmente las micros pequeñas empresas en EE.UU que representaban el 47.3%, al cierre de 2020 el 34% de ellas está cerrada (Ghosh, 2021), del mismo modo en la Unión Europea se plantea un fenómeno similar donde también se incluyó el segmento de las medianas empresas, ambas se consideraban el motor económico al inicio de pandemia, sin embargo después del primer año de la pandemia la expectativa -a pesar de la ayuda del Estado- más de la mitad tendrá problemas de sobrevivencia (Dimson, Sharma, & Tadjeddine, 2020).

Congestión de puertos, al inicio de la pandemia cuando se decretó el encierro por la organización mundial de salud, había la consideración de que la demanda global de productos disminuiría, y las ordenes de compra se detuvieron, pero una vez que se inició la apertura parecía que la reactivación de la demanda de productos se restablecería en poco tiempo, lo que no ocurrió, no solo porque los productores tardaron en reiniciar la operación de las fábricas, sino por la incapacidad de los puertos para recibir mercancías (Lerh, 2022), Uno de los trabajos que de una manera cruda mostró el número de barcos y contenedores que hacían colas en distintos puertos de EE.UU fue realizado por Griffiths & Lademan (2021), detallando además los tiempos de espera para ser descargados, esto incrementó los costos del flete de 1 a 8 veces, antes de la pandemia el traslado de un contenedor estándar China a Estados Unidos de Norteamérica era de USD \$1,300, durante la pandemia creció a USD \$11,000 y en Junio 2022 un envío de China a los Ángeles California costaba USD \$2,460, finalmente en febrero 2023 el costo del envío de un contenedor del puerto de Shanghai o Shenzhen China, a puertos de Los Ángeles California o a Houston

¹ 1 Teu=1 Contenedor estándar, Un TEU mide 20 pies de largo, 8 pies de ancho y 8 pies y 6 pulgadas de alto. El volumen interno de un contenedor de 20 pies es de 1,172 pies cúbicos (33.2 m3).



Texas, el rango fué USD \$ 4,800 y \$ 5,900, lo que muestra un diferencial antes y después de la pandemia (MoverDB, 2022; Freightos, 2023).

Escasez de mano de obra, desde el inicio y durante la etapa del encierro por el efecto COVID 19, algunas empresas de diferentes tamaños, pero principalmente las micros, medianas y pequeñas industrias despidieron una parte o todo su personal, lo que hizo que éstos buscaran refugio y empleo en el comercio informal o realizando actividades ajenas a una organización que les redituara un ingreso, la consecuencia de esa decisión fue que al reactivarse las cadenas de suministro no encontraran el suficiente personal con las habilidades requeridas ya que estos tenían una nueva actividad, no se trataba solo de trabajos de fuerza física, sino también de otras áreas administrativas (Conerly, 2021), por otro lado una vez que empezó la reactivación las funciones de administración y gestión de las organizaciones encontraron dificultad para localizar al personal idóneo para su empresa, sin embargo el interés de los buscadores de empleo era selectivo, solo algunos perfiles de empresas eran de su interés, por ej. Industrias atractivas, cambios demográficos o reubicaciones, la evolución tecnológica, brechas en las habilidades, esto hizo sofisticada la búsqueda de nuevo empleo, para los candidatos no era conseguir cualquier trabajo, sino el que llenara sus requerimientos (Fowler, 2021), este sigue siendo el reto actual de las organizaciones con la escasez de recursos humanos en la etapa pospandemia.

Eventos Geopolíticos, aunque estos eventos no son nuevos con su ocurrencia afectaron a las cadenas de suministro globales, como el embargo del petróleo Árabe, la cancelación de la venta de cobre a los estados Unidos de Norteamérica por el gobierno Chileno, las huelgas Sudafricanas en las minas de platino (Morales & Geary, 2003; Nkosi, 2014; Dorn, 2022), sin embargo hoy tenemos un ejemplo reciente con las afectaciones de la guerra Rusia-Ucrania a las cadenas de abastecimiento globales, Hamilton (2023), explica con detalle los productos que se generaban antes y después de la guerra con las implicaciones de fallas en las cadenas de suministros, por ej. El impacto en las cadenas de alimentos, por la producción de granos de Ucrania, principalmente arroz y trigo, aceite de girasol, maíz, hasta el desarrollo de placas para producir chips, otra de las afectaciones a Estados Unidos es la de productos mineros, 30% del platino, 13% de Titanio, 11% de Níquel que consume la unión americana provenía de Rusia. Este evento también afectó a la Unión Europea por el incremento del precio del gas natural que adquiría de Rusia (Hamilton, 2023).

Embargos, un embargo es una prohibición que impone un gobierno o una organización para limitar o prohibir el comercio o actividades económicas con un país, entidad u organización específica (Beech, 1922).

Sanciones, Una sanción es el conjunto de medidas que un país o grupo de países imponen a otro que representa un riesgo a su seguridad nacional, en el conflicto Rusia-Ucrania se han aplicado algunas medidas desde dos frentes, el de la Unión Europea y el de Estados Unidos, las sanciones impuestas al sector financiero y los Bancos Rusos, lo que limita sus transacciones financieras con otros países, transportación y logística de entrada y salida del país, restricciones al espacio aéreo y marítimo, prohibición de

exportaciones y reexportaciones a productos específicos (International-Trade-Organization, 2023; European-Council, 2022), es importante señalar que las medidas adoptadas están vigentes y que las sanciones actuales tienden a incrementarse.

Guerra comercial, este tipo de eventos que escenifican Países vs Países, País vs Unión o Bloques vs Bloques, algunas veces pueden destruir las cadenas de suministro por algunas acciones, por ejemplo la imposición de aranceles, prohibición expresa de un producto, establecimiento de cuotas, limitaciones de la propiedad intelectual y otras que sean de interés para las partes en pugna, esto trae consigo que quienes se dedican a comercializar, exportar, importar o transformar productos, se vean impedidos para realizarlos (BBC, 2020; Wolf & Kalish, 2021).

Desastres naturales, algunos fenómenos naturales como huracanes (Handfield, 2017), inundaciones (Larson, 1996) y terremotos (Horwich, 2000), alteran el flujo de las cadenas de suministro y no hay manera de anticiparse a su ocurrencia, lo más que se hace es mitigar el riesgo de su alcance cuando ocurren, el profesor Handfield (2017), ofrece una herramienta que ayuda a la prevención y la recuperación después del evento, sin embargo muy poco se puede hacer para evitarlos, en este sentido las cadenas de suministro estarán expuestas a los fenómenos naturales (Kettering-University, 2016).

Volatilidad de la demanda, los principales componentes de este evento lo constituyen la escasez de un producto, por una demanda repentina o la incapacidad de los proveedores de resurtir en corto plazo las unidades consumidas, normalmente está asociado con el aumento de precio, uno de estos casos ocurrió con la fórmula para bebé en EE. UU. Berger (2022) explica las causas del desabasto de la fórmula para bebés y cual es el panorama que se avecina para el abastecimiento normal. El segundo componente de la volatilidad de la demanda es el excedente que se genera en áreas específicas de producción, esto puede conducir a casos como el del incremento en la producción de soya en EE. UU. para que el precio tienda a la baja, el trabajo desarrollado por Swiss-ft (2023), explica con detalle como ocurre el fenómeno para este producto particular.

Ciberseguridad, los componentes de la Ciberseguridad lo integran el ransomware, un tipo de malware que encripta los archivos de una víctima y exige un pago de rescate para descifrarlos, Blechynden (2022) presenta algunos casos ocurridos en el mundo. La Violación de datos, definida como un incidente de seguridad en el que datos sensibles, protegidos o confidenciales son copiados, transmitidos, vistos, robados, alterados o utilizados por una persona no autorizada para hacerlo (Groot, 2022). Finalmente el tercer elemento es la Negación del servicio, Check Point (2021) la define como un ataque cibernético en el que el perpetrador busca hacer que una máquina o recurso de red no esté disponible para sus usuarios previstos interrumpiendo temporal o indefinidamente los servicios de un host conectado a una red. En la idea de aclarar los conceptos véase los casos de Purdue-Global (2019) donde se muestran casos que según su apreciación han sido los de mayor impacto global; Por otro lado en Groot (2022) se encuentra una historia de la violación de datos y algunas implicaciones. Los componentes encontrados han hecho que en



algunos casos se interrumpen las cadenas globales de abastecimiento afectando países y regiones completas.

MÉTODO.

Los datos para esta investigación se obtuvieron de sitios web con publicaciones sobre el colapso de la cadena de suministro a partir del 2021 y hasta enero del 2023, aunque también se incluyeron 10 artículos de antecedentes sobre el mismo tema, en total fueron 103 sitios web que cumplieron los elementos de búsqueda principal, posteriormente dichos sitios se clasificaron en tres grupos de información obtenida, el de Estados Unidos de Norteamérica con 31 sitios web, el de Europa con 38 y el de Asia con 34 sitios, con ellos se realizó un análisis comparativo de las causas de la rotura de las cadenas de suministro. Los tres resultados obtenidos se cruzaron y se obtuvo la lista de las causas unificadas de todas las regiones.

RESULTADOS.

A los resultados obtenidos al procesar la información de los sitios Web seleccionados, se les aplicó el método descrito en la metodología y se obtuvieron cinco elementos perturbadores para las cadenas de suministro globales, la tabla 1 muestra la causa de la fractura de la cadena y los efectos que se generan con dicha turbulencia.

Tabla 1

Resultados del análisis de las Cadenas de suministro Rotas

Causa de fractura de la cadena	Efectos
COVID 19	Cierre de fábricas Congestión de puertos Falta de mano de obra
Eventos Geopolíticos	Embargos Sanciones
Desastres Naturales	Huracanes, Inundaciones Terremotos, Sequías
Volatilidad de la Demanda	Escasez Excedentes
Ciberseguridad	Ransomware, Violación de datos Negociación de servicio

Nota: Elaboración propia con resultados obtenidos.

CONCLUSIONES

Los hallazgos encontrados en esta investigación, muestran que las cadenas de suministro estarán amenazadas mientras no se encuentre cómo someter las pandemias, los problemas geopolíticos, los desastres naturales, la volatilidad de la demanda, y la ciberseguridad, esta quinteta de factores causantes de las disrupciones a las cadenas de suministro globales no están sujetas al control humano, y difícilmente lo estarán al menos en el mediano plazo, además la impredecibilidad y la aleatoriedad con que aparecen, incrementan la complejidad de las posibles soluciones. Una implicación que emerge de los hallazgos de este trabajo es que el comercio global debe encontrar paliativos para mitigar el impacto de estos cinco elementos, por ej. Relocalización,

Gestión de Riesgos, Uso de Tecnología, Planificación de Contingencias, Producción de Stocks, y Alertas Tempranas.

Referencias

- Aronow, S. (27 de 01 de 2022). *Supply Chain Pressures Will Dominate 2022, But Equilibrium Is Coming*. Obtenido de Gartner Supply Chain: <https://www.gartner.com/en/articles/supply-chain-pressures-will-dominate-2022-but-equilibrium-is-coming>
- BBC. (16 de 01 de 2020). *A quick guide to the US-China trade war*. Obtenido de BBC: <https://www.bbc.com/news/business-45899310>
- Beech, S. (27 de 05 de 1922). *China and Russia veto new UN sanctions on North Korea for first time since 2006*. Obtenido de ONU: <https://edition.cnn.com/2022/05/26/asia/us-north-korea-united-nations-intl-hnk/index.html>
- Berger, E. (18 de 05 de 2022). *Why is there a baby formula shortage in the US, and what can parents do?* Obtenido de The Guardian: <https://www.theguardian.com/us-news/2022/may/18/baby-formula-shortage-why-is-there-none-what-to-do-causes-explained>
- Blechynden, D. (09 de 09 de 2022). *The 10 worst ransomware attacks ever*. Obtenido de Tech Radar: <https://www.techradar.com/features/the-10-worst-ransomware-attacks-ever>
- Check-Point. (10 de 7 de 2021). *What is Denial of Service (DoS)?* Obtenido de Check Point: <https://www.checkpoint.com/cyber-hub/cyber-security/what-is-denial-of-service/>
- Conerly, B. (7 de 07 de 2021). *The Labor Shortage Is Why Supply Chains Are Disrupted*. Obtenido de Forbes: <https://www.forbes.com/sites/billconerly/2021/07/07/the-labor-shortage-is-why-supply-chains-are-disrupted/?sh=77befe10301d>
- Dimson, J., Sharma, Z. M., & Tadjeddine, K. (22 de 10 de 2020). *COVID-19 and European small and medium-size enterprises: How they are weathering the storm*. Obtenido de McKinsey & Company: <https://www.mckinsey.com/industries/public-sector/our-insights/covid-19-and-european-small-and-medium-size-enterprises-how-they-are-weathering-the-storm>
- Dorn, G. J. (2022). *Chile, the United States, and the Korean War “Copper Problem”*. *Diplomatic History*, <https://academic.oup.com/dh/article-abstract/47/2/279/6965040?login=false>.
- European-Council. (24 de 02 de 2022). *EU sanctions against Russia explained*. Obtenido de Council of the European Union: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/sanctions/restrictive-measures-against-russia-over-ukraine/sanctions-against-russia-explained/>
- Federal-Reserve-History. (1 de 10 de 1973). *Federal Reserve History*. Obtenido de Oil Shock of 1973–74: <https://www.federalreservehistory.org/essays/oil-shock-of-1973-74>
- Forbes-Staff. (23 de 07 de 2021). *Las cadenas de suministro mundiales se tambalean por la variante Delta y las catástrofes*. Obtenido de Forbes: <https://www.forbes.com.mx/las-cadenas-de-suministro-mundiales-se-tambalean-por-la-variante-delta-y-las-catastrofes/>
- Fowler, K. (19 de 10 de 2021). *Five Reasons Labor Shortages Are Impacting Supply Chains*. Obtenido de Forbes: <https://www.forbes.com/sites/forbeshumanresourcescouncil/2021/10/19/five-reasons-labor-shortages-are-impacting-supply-chains/?sh=5f0b231a5b94>
- Freightos. (27 de 06 de 2023). *Shipping from Chinato the USAShipping times and freight costs*. Obtenido de FREIGHTOS:



- <https://www.freightos.com/shipping-routes/shipping-from-china-to-the-united-states/>
- Garrison, R. (27 de 02 de 2023). *The Year The Global Supply Chain Bounces Back*. Obtenido de Forbes: <https://www.forbes.com/sites/forbesbusinesscouncil/2023/02/17/2023-the-year-the-global-supply-chain-bounces-back/?sh=4ecdffdf37f9>
- Geopolitical-Futures. (25 de 03 de 2022). *America's Broken Supply Chains*. Obtenido de Geopolitical Futures : <https://geopoliticalfutures.com/americas-broken-supply-chains/>
- Ghosh, I. (5 de 05 de 2021). *34% of America's small businesses are still closed due to COVID-19. Here's why it matters*. Obtenido de World Economic Forum: <https://www.weforum.org/agenda/2021/05/america-united-states-covid-small-businesses-economics/>
- Griffiths, G., & Lademan, D. (25 de 11 de 2021). *Container port delays: Queues at ports mount pressure on supply chains*. Obtenido de S&P Global: <https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/market-insights/latest-news/shipping/082521-container-port-delays-queues-at-ports-mount-pressure-on-supply-chains#>
- Groot, J. D. (22 de 11 de 2022). *The History of Data Breaches*. Obtenido de DataInsider : <https://www.digitalguardian.com/blog/history-data-breaches>
- Hamilton, E. (21 de 02 de 2023). *The global supply chain consequences of the Russia-Ukraine war*. Obtenido de University of Florida News: <https://news.ufl.edu/2023/02/russia-ukraine-global-supply-chain/>
- Handfield, R. (18 de 12 de 2017). *Lessons from Hurricane Harvey's Impact on the Global Supply Chain: The Role of Analytics*. Obtenido de NC STATE: <https://erm.ncsu.edu/library/article/lessons-from-hurricane-harveys-impact-on-the-global-supply-chain>
- Hart, C. (13 de 04 de 2021). *'Troubling' rise in supply chain cyber attacks*. Obtenido de Supply Management: <https://www.cips.org/supply-management/news/2021/april/troubling-rise-in-supply-chain-cyber-attacks/>
- He, L. (6 de 05 de 2022). *Shipping delays are back as China's lockdowns ripple around the world*. Obtenido de CNN Business: <https://edition.cnn.com/2022/05/06/business/china-lockdowns-global-port-chaos-supply-chains-intl-hnk/index.html>
- Horwich, G. (2000). Economic Lessons of the Kobe Earthquake. *Chicago Journals*, 48(3), 521-542.
- International-Trade-Organization. (27 de 06 de 2023). *Russia Sanctions and Export Controls*. Obtenido de International Trade Organization Department of Commerce : <https://www.trade.gov/russia-sanctions-and-export-controls>
- Kettering-University. (7 de 7 de 2016). *The Impact of Natural Disasters on Global Supply Chains*. Obtenido de Kettering Global: <https://online.kettering.edu/news/2016/06/07/impact-natural-disasters-global-supply-chains>
- LaRocco, L. A. (14 de 06 de 2022). *These charts show the state of the global supply chain as China eases Covid lockdowns*. Obtenido de CNN, News: <https://www.cnn.com/2022/06/06/these-charts-show-state-of-supply-chain-as-china-eases-covid-lockdowns.html>
- Larson, L. W. (24 de 6 de 1996). *The Great USA Flood of 1993*. Obtenido de National Weather Service EE. UU.: https://www.nwrfc.noaa.gov/floods/papers/oh_2/great.htm
- Lee, J. (29 de 12 de 2022). *China reopening earlier than expected could hit supply chains in the short term, but boost growth in 2023*. Obtenido de cnbc: <https://www.cnn.com/2022/12/29/what-chinas-earlier-reopening-means-for-markets.html>
- Lerh, J. (15 de 6 de 2022). *Global port congestion, high shipping rates to last into 2023 - execs*. Obtenido de Reuters: <https://www.reuters.com/business/global-port-congestion-high-shipping-rates-last-into-2023-exec-2022-06-16/>
- Moore, L. (21 de 8 de 2020). *15 examples of supply chain disruptions throughout history*. Obtenido de Techtarget: <https://www.techtart.com/searcherp/infographic/15-examples-of-supply-chain-disruptions-throughout-history>
- Morales, D. K., & Geary, S. (1 de 11 de 2003). *Speed Kills: Supply Chain Lessons from the War in Iraq, Spanish Version*. Obtenido de Harvard Business Review: <https://hbr.org/2003/11/speed-kills-supply-chain-lessons-from-the-war-in-iraq>
- MoverDB. (30 de 06 de 2022). *2023 Sea Freight Container Shipping Rates To & From China*. Obtenido de MoverDB: <https://moverdb.com/container-shipping/china/>
- Nkosi, M. (23 de 01 de 2014). *South African platinum workers strike over pay*. Obtenido de BBC: <https://www.bbc.com/news/world-africa-25854482>
- Peterson, A. (18 de 12 de 2014). *The Sony Pictures hack, explained*. Obtenido de The Washington Post: <https://www.washingtonpost.com/news/the-switch/wp/2014/12/18/the-sony-pictures-hack-explained/>
- Purdue-Global. (4 de 10 de 2019). *Top 10 Worst Data Breaches of All Time [Infographic]*. Obtenido de Purdue Global: <https://www.purdueglobal.edu/blog/information-technology/worst-data-breaches-infographic/>
- Simchi-Levi, D., & Haren, P. (17 de 03 de 2022). *How the War in Ukraine Is Further Disrupting Global Supply Chains*. Obtenido de Harvard Business Review: <https://hbr.org/2022/03/how-the-war-in-ukraine-is-further-disrupting-global-supply-chains>
- Swiss-ft. (20 de 05 de 2023). *Anticipated 2023 Surplus of Soybean Supply Puts Pressure on Soybean Oil Prices*. Obtenido de Swiss-ft: <https://www.swissfinancialtime.com/2023/05/anticipated-2023-surplus-of-soybean.html>
- Tajitsu, N. (29 de 03 de 2016). *Five years after Japan quake, rewiring of auto supply chain hits limits*. Obtenido de Reuters: <https://www.reuters.com/article/us-japan-quake-supplychain-idUSKCN0WW09N>
- UNCTAD. (30 de 03 de 2022). *Maritime transport indicators*. Obtenido de UNCTAD: <https://hbs.unctad.org/maritime-transport-indicators/>
- Wolf, M., & Kalish, I. (3 de 12 de 2021). *Supply chain resilience in the face of geopolitical risks*. Obtenido de Deloitte Insights: <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/economy/us-china-trade-war-supply-chain.html>
- Yee, V., & Glanz, J. (19 de 07 de 2021). *Así fue como el Ever Given se atascó en el Canal de Suez*. Obtenido de The New York Times: <https://www.nytimes.com/es/2021/07/19/espanol/canal-suez-evergiven.html?auth=login-google1tap&login=google1tap>
- Yumee, L. (29 de 11 de 2020). *Blood Diamonds in Sierra Leone: How Colonialism Functions Today*. Obtenido de Columbia Political Review: <http://www.cpreview.org/blog/2020/11/blood-diamonds-in-sierra-leone-how-colonialism-functions-today>



Estudio experimental de la caída de presión en rectificadores de flujo

René Tolentino Eslava, Ivone Cecilia Torres Rodríguez, Pedro Francisco Huerta González

RESUMEN

En este trabajo se presenta la evaluación experimental de la caída de presión en un arreglo de rectificador-acondicionador de flujo en una instalación por la que circula agua en una tubería de diámetro de 6 plg (150 mm). El rectificador de flujo evaluado fue el de haz de tubos integrado por 37 tubos de 12 plg de longitud; por otro lado, el enderezador de flujo es del tipo placa perforada NEL (Spearman); estos se calcularon de acuerdo con la norma ISO 5167-1:2003. El estudio experimental se realizó con el fluido de trabajo a temperatura ambiente en un intervalo de flujo de 100 LPM a 300 LPM. La caída de presión obtenida para el flujo máximo fue de 12.08 kPa (1.23 mca).

ABSTRACT

This paper presents the experimental evaluation of the pressure drop in a conditioner-straightener flow arrangement in an installation through which water is circulated in a 6 in. (150 mm) diameter pipe. The evaluated flow rectifier was the tube bundle integrated by 37 tubes of 12 inches in length; on the other hand, the flow straightener is of the NEL (Spearman) perforated plate type; these were calculated according to ISO 5167-1:2003. The experimental study was carried out with the working fluid at room temperature in a flow range from 100 LPM to 300 LPM. The pressure loss for the maximum flow was 12.08 kPa (1.23 mca).

Palabras claves: Caída de presión, Enderezador/Rectificador de flujo, Instalación medidor de flujo, Longitud de tubería.

INTRODUCCIÓN

Para instalar los instrumentos de medición de flujo se debe tener un flujo desarrollado o un perfil de velocidades uniforme en el plano de medición. Por lo que es necesario tener una longitud de tubería recta corriente arriba y corriente abajo del instrumento de medición, distancia que se expresa en función del diámetro nominal de la tubería (D). Algunas aplicaciones en la industria no permiten contar con los tramos de tubería recta, por lo que es necesario emplear enderezadores o acondicionadores de flujo.

La distorsión del flujo y del perfil de velocidades en los procesos industriales se deben a los codos que pueden estar en uno, dos o tres planos, los accesorios como las “T” y “Y”. Las válvulas de control al regular el flujo generan una perturbación del perfil de

velocidades; también las válvulas check, válvulas de bloqueo y las válvulas solenoides contribuyen a alterar el perfil de velocidades. Por otro lado, los filtros, entradas de flujo desde tanques o desde la atmósfera también distorsionan el flujo. Cuando se requiere una exactitud alta en los medidores de esta variable se emplean dispositivos de acondicionamiento de flujo para reducir los errores en las condiciones de instalación (Brown G. y Griffith B., 2013).

Se han realizado diversos estudios experimentales sobre el desempeño de rectificadores y acondicionadores en la medición de flujo. Laribi B., et al (2003), evaluaron experimentalmente los efectos de acondicionadores de flujo Étoile, haz de tubos y placa perforada tipo Laws en la medición de una placa de orificio, encontrando una desviación en los coeficientes de calibración de ésta. Brown G. y Griffith B., (2013), estudiaron el desempeño de medidores de flujo ultrasónicos con y sin acondicionamiento de flujo. Liu, R., et al (2014), evaluaron el acondicionador de flujo de una terminal de volumen de aire variable (VAV) para regular el perfil de velocidad corriente arriba del sensor de flujo de la VAV e incrementar la exactitud de la medición del flujo de aire. Brown G. y Griffith B. (2015), evaluaron un rectificador de flujo tipo Laws y un diseño nuevo con un medidor de flujo de 4 pares de sensores, encontrando un desempeño similar del medidor de flujo cuando se reduce la caída de presión en el rectificador.

También se han realizado estudios mediante Dinámica de Fluidos Computacional (CFD), para la evaluación de rectificadores de flujo. Yin, G., et al (2023), evaluaron el desempeño de un rectificador de haz de tubos en base a los perfiles de velocidad, la intensidad de vórtice y la desviación del flujo en una tubería recta. Štefanič, M., & Lipej, A. (2023), investigaron la reducción de las distancias corriente arriba y corriente abajo en una tubería de medición cuando se instalan diferentes acondicionadores (Zanker y NEL) en un flujo de aire, lo cual mejoró la exactitud de la medición.

El uso de rectificadores en la medición de flujo es una práctica común al controlar esta variable. Se tiene diversos rectificadores dentro de los que destacan: Etoile, AGA/ASME, AMCA, ISO, AGA, ASME, Zanker, Mitsubishi y Sprengle. Siendo su construcción en base a la unión de placas formando una estrella; un arreglo de tubos, placas perforadas; o una combinación de placas perforadas unidas con tubos. La ventaja de los rectificadores es que reducen la distancia de tubería entre un 20% a 50% dependiendo del instrumento de medición y el último accesorio que perturba el flujo antes del punto de medición. Por lo que en este trabajo se presenta la evaluación de la caída de presión en dos rectificadores de flujo normalizados haz de tubos y tipo Spearman (NEL).

* Instituto Politécnico Nacional, ESIME Zacatenco, Departamento de Ingeniería en Control y Automatización, rtolentino@ipn.mx, phuerta@ipn.mx, ictorres@ipn.mx.





CAÍDA DE PRESIÓN

El coeficiente de caída de presión (K) en los rectificadores y acondicionadores de flujo se determina con la ecuación (1), ISO 5167-1 (2003).

$$K = \frac{\Delta p_c}{\frac{1}{2} \rho V^2} \quad (1)$$

En la ecuación anterior: Δp_c , es la pérdida de presión en el acondicionador o rectificador de flujo; V, es la velocidad axial promedio del fluido en la tubería; ρ , es la densidad del fluido. El término del denominador representa la presión dinámica del fluido

Los coeficientes de pérdida de presión (K) aproximados de los rectificadores de flujo son: haz de tubos de 0.75, el tipo AMCA de 0.25 y el Étoile de 0.25. Los acondicionadores de flujo tienen los siguientes valores de K aproximados: el Gallagher de 2, el K-Lab NOVA de 2, el Nel (Spearman) de 3.2, el Sprengle entre 11 y 14, el Zanker de 5 y la placa Zanker de 3 (ISO 5167-1, 2003).

RECTIFICADORES DE FLUJO

La norma ISO 5167-1 (2003), establece que los rectificadores de flujo son dispositivos que remueven o reducen los remolinos o vórtices; como enderezadores se tienen los de haz de tubos (tube bundle), el tipo AMCA y el Étoile. Por otro lado, un acondicionador de flujo es un dispositivo que además de remover o reducir los vórtices, está diseñado para redistribuir el perfil de velocidad. Varios de los acondicionadores de flujo son o incluyen una placa perforada, estos tienen la ventaja de que su espesor es alrededor de $D/8$ comparada con la longitud mínima de $2D$ del haz de tubos. Algunos ejemplos de acondicionadores de flujo son el Gallagher, K-Lab Nova, NEL (Spearman), Sprengle y Zanker.

Para este trabajo se seleccionaron el rectificador de flujo de haz de tubos y el acondicionador de flujo NEL (Spearman). El acondicionador NEL se fabricó por duplicado para instalar uno corriente arriba y el otro corriente debajo de un transmisor de flujo electromagnético. La instalación en donde se evaluaron los transmisores cuenta con una expansión abrupta de 50 mm (2 plg) a 150 mm (6 plg) de diámetro, por lo que después de la expansión se colocó el rectificador de haz de tubos. Lo anterior, garantiza un flujo adecuado en el punto de medición.

El acondicionador de flujo NEL (Spearman), calculado según la norma ISO 5167-1 (2003) tiene las siguientes dimensiones:

- Cuatro perforaciones de 0.10 D (0.6 plg), en un diámetro de 0.18 D (1.08 plg).
- Ocho perforaciones de 0.16 D (0.96 plg), en un diámetro de 0.48 D (2.88 plg).
- Dieciséis perforaciones de 0.12 D (0.72 plg), en un diámetro de 0.86 D (5.16).
- Una placa de espesor de 0.12 D (0.72 plg).

Éste se manufacturó de placa de acrílico con perforaciones hechas con corte láser para garantizar las dimensiones calculadas, en la figura 1 se muestra el acondicionador de flujo.



Figura 1.- Rectificador tipo Spearman.
Fuente: elaboración propia.

El rectificador de flujo de haz de tubos se construyó con las siguientes consideraciones de acuerdo con la norma ISO 5167-1 (2003).

- Al menos 19 tubos.
- El espesor de los tubos debe ser menor a $0.025 D$.
- El diámetro exterior del rectificador debe ser mayor a $0.95 D$, pero menor a $1 D$ de la tubería que lo contendrá.
- Pueden ponerse 4 espaciadores que son opcionales.
- La longitud de los tubos debe estar entre $2 D$ y $3 D$, pero lo más cercano a $2 D$.

Se construyó de CVPV de 12.7 mm (1/2 plg) de diámetro el cual cuenta con las características requeridas en el diseño, para unir el rectificador se empleó pegamento para este tipo material, el rectificador construido se muestra en la figura 2 y está integrado de 37 tubos de 30.48 mm (12 plg) de longitud equivalente a $2D$.



Figura 2.- Rectificador de tubos tipo bundle.
Fuente: elaboración propia.



INSTALACIÓN EXPERIMENTAL

Para la evaluación de la caída de presión en los rectificadores de flujo, se empleó una instalación experimental para medición y control de flujo de agua, la cual se muestra en la figura 3 y se describe a continuación. Está integrada de un tanque atmosférico construido de aluminio con una capacidad de 270 litros. El fluido se recircula mediante una bomba sumergible trifásica marca PUMPS F&Q, modelo 50WQ0.55 – 2P3V, maneja un flujo de 400 LPM (24 m³/h) a una presión de 3 m H₂O, el diámetro de descarga es de 50.8 mm (2 plg). Es accionada por un motor eléctrico de 2 polos de 550 W (0.75 hp) alimentado a 220 V de CA y demanda una corriente de 4.2 A y su velocidad nominal es de 3450 rpm. El flujo circula por una tubería de 50 mm (2 plg) de diámetro de PVC cédula 40 que se expande a un tubo de 150 mm (6 plg) de diámetro de PVC de la misma cédula.



Figura 3.- Instalación experimental.
Fuente: elaboración propia.

La instalación cuenta con transmisores de flujo y presión. Para el flujo se tiene un transmisor electromagnético de la marca Endress+Hauser, modelo Promag 33F, con protocolo HART y señal de salida de 4 mA a 20 mA. Alcance ajustable de 0 m³/h a 636.2 m³/h, 150 mm (6 plg) de diámetro. Tiene un alcance ajustable en 3 modos de operación: mínimo de 0 m³/h a 19.09 m³/h a 0.3 m/s, de fábrica de 0 m³/h a 159.0 m³/h a 2.5 m/s y máximo de 0 m³/h a 636.2 m³/h a 10 m/s, Endress+Hauser, (2006). El transmisor se ajustó en un intervalo desde 0 l/min hasta 330 l/min (19.8 m³/h). La presión se mide con transmisores de presión absoluta marca Noshok, serie 100 con alcance de 0 psia a 30 psia, señal de salida 4 mA a 20 mA y alimentación 10 V CD a 30 V DC. Su conexión a proceso es roscada de 1/4 plg NPT.

El tubo de medición en el que se instaló el transmisor de flujo se muestra en la Figura 4, tiene una longitud de 11.5D (2.68 m, 105.6 plg.) antes del transmisor y 3.5D (0.53 m = 21 plg) después del medidor de flujo, se consideraron 2D para colocar el primer rectificador. Un acondicionador NEL (Spearman) está en la entrada a 5.5 D (838.2 mm = 33 plg) del transmisor, el rectificador de tubos se ubica a 7.5 D (1143 mm = 45 plg) del transmisor y el segundo acondicionador se localiza a 1.5 D (228.6 mm = 9 plg) después del transmisor.

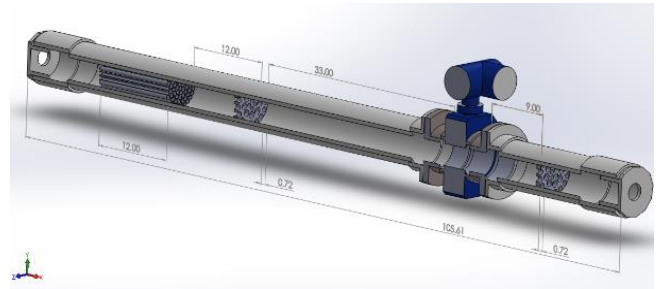


Figura 4.- Tubo de medición y rectificadores de flujo.
Fuente: elaboración propia.

La instalación se opera desde un tablero de control el cual tiene como elementos principales un Controlador Lógico Programable (PLC), un variador de frecuencia, una estación de operación y elementos de protección. La estación de operación se emplea para el arranque y paro de la bomba sin la necesidad de la HMI, también para establecer la operación en manual o automática.

RESULTADOS

Para determinar la caída de presión en los rectificadores de flujo que se tienen en el tubo de medición, se midió la presión en la entrada y salida de este. La caída de presión considera la expansión y contracción, así como los tres rectificadores de flujo. La evaluación se realizó a diferentes frecuencias de operación con la válvula de retorno al tanque abierta. Se obtuvo una presión de 0.070 mca en la entrada y una presión de 0.049 mca en la salida con un flujo de 100.99 l/min (20 Hz). Para un flujo de 302.97 l/min (60 Hz) se tuvo una presión de 2.685 mca en la entrada y de 1.455 mca en la salida. La figura 5 muestra el comportamiento de las presiones en la entrada (P1) y salida (P2) del tubo de medición. La separación entre las presiones representa la caída de presión en los rectificadores de flujo.

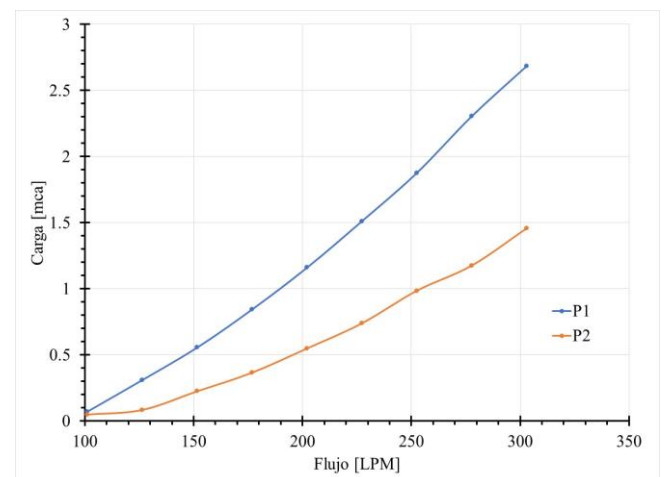


Figura 5.- Presión en entrada y salida del tubo de medición.
Fuente: elaboración propia.



En la tabla 1, se muestra la caída de presión con la válvula de recirculación abierta para todas las condiciones de flujo evaluadas en función de incrementos de cada 5 Hz con el variador de frecuencia.

Tabla 1. Caída de presión en los rectificadores de flujo.

f [Hz]	qv [LPM]	Δp [mca]
20	101.0	0.02
25	126.2	0.22
30	151.5	0.33
35	176.7	0.48
40	202.0	0.61
45	227.2	0.77
50	252.5	0.89
55	277.7	1.13
60	303.0	1.23

Fuente: elaboración propia.

El flujo mínimo evaluado fue de 101 LPM que representa un tercio del flujo máximo en la instalación. La caída de presión máxima fue de 1.23 mca para el flujo de 303 LPM (60 Hz) y la caída de presión mínima fue de 0.02 mca a un flujo de 101 LPM (20 Hz).

También se caracterizó la bomba sumergible, para lo cual se estableció una frecuencia constante de 60 Hz y se registró la presión en la entrada del tubo de medición, obturándose la válvula en diferentes posiciones. En la figura 5 se muestra la curva de flujo-carga de la bomba, teniéndose un flujo máximo de 303 LPM para una carga de 2.58 mca y una carga de 8.08 mca para un flujo de 32.4 LPM.

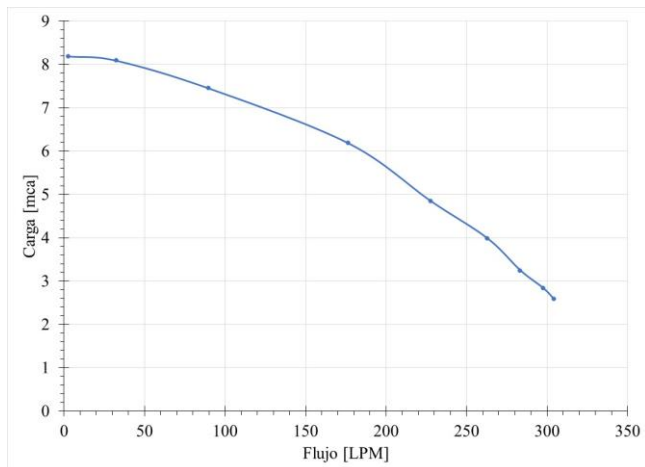


Figura 5.- Curva flujo-carga de la bomba.

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

Se determinó la caída de presión en un conjunto de un rectificador de flujo (has de tubos) y dos acondicionadores de flujo (NEL-

Spearman) en una instalación para medición y control de flujo de agua. Los acondicionadores y el rectificador de flujo permitieron reducir la distancia del tubo adecuándose al espacio disponible en el laboratorio para la instalación experimental a cambio de una caída de presión máxima de 1.23 mca en el tubo de medición. Finalmente, la medición de flujo presentó una variación de $\pm 1.5\%$ reflejado en una variación de ± 5 lpm, valor aceptable para la medición de esta variable.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- Brown, G. J., & Griffith, B. W. (2013). A new flow conditioner for 4-path ultrasonic flowmeters. Flomeko 2013, Paris, France.
- Brown, G. J., & Griffith, B. W. (2015). Ultrasonic flow meters and flow conditioning. Int. Flow Measurement Conference 2015, Coventry, UK.
- Endress+Hauser, (2006), Promag 33 Sistema de medición de flujo electromagnético, Manual de operación, No. 50063718
- ISO 5167-1. (2003). Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular-cross section conduits running full. Part 1: General principles and requirements.
- Laribi, B., Wauters, P., & Aichouni, M. (2003). Comparative study of aerodynamic behaviour of three flow conditioners. *European journal of mechanical and environmental engineering*, 48(1), 21-30.
- Liu, R., Wen, J., & Waring, M. S. (2014). Improving airflow measurement accuracy in VAV terminal units using flow conditioners. *Building and environment*, 71, 81-94.
- Štefanič, M., & Lipej, A. (2023). Numerical Investigation and Experimental Validation of Different Air Flow Conditioners using Up-and Down-Stream Pipeline. *Journal of Applied Fluid Mechanics*, 16(5), 983-991.
- Yin, G., Ong, M. C., & Zhang, P. (2023). Numerical investigations of pipe flow downstream a flow conditioner with bundle of tubes. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, 17 (1), e2154850.

INFORMACIÓN ACADÉMICA

René Tolentino Eslava: Ingeniero Mecánico de ESIME Azcapotzalco, IPN. M. en C. en Ingeniería Mecánica por la SEPI, ESIME Zacatenco, IPN. Profesor titular del departamento de Ingeniería en Control y Automatización de la ESIME Zacatenco.

Pedro Francisco Huerta González: Ingeniero Electricista de ESIME Zacatenco, IPN. M. en C. en Ingeniería Eléctrica, SEPI ESIME Zacatenco, IPN. Profesor titular del departamento de Ingeniería en Control y Automatización de la ESIME Zacatenco.

Ivone Cecilia Torres Rodríguez: Ingeniera en Control y Automatización de ESIME Zacatenco, IPN. M. en C. en Ingeniería Eléctrica por la SEPI ESIME Zacatenco del IPN. Profesora titular del departamento de Ingeniería en Control y Automatización de la ESIME Zacatenco.



IP-01

Diseño y análisis numérico de una base estructural usada en un paquete de aire

Pablo Andrés Fernández Martínez, Urriolagoitia Sosa Guillermo, Romero Ángeles Beatriz, Urriolagoitia Calderón Guillermo Manuel

RESUMEN

En la industria energética es importante la fabricación de equipos que brindan soluciones integrales y que permitan el cumplimiento de estándares de calidad. El presente trabajo está enfocado en el análisis numérico y diseño mecánico de una base estructural de acero A-36 que será usada en una secadora de aire que se conforma por instrumentos, tubería, filtros y torres llamada secadora; el cual tienen como objetivo eliminar partículas sólidas del aire, aceites, gases y principalmente la humedad, esto es importante y de uso muy común en la industria, al requerir aire seco con ciertas características que demanda la industria.

La estructura y el izaje de este equipo, estará diseñada y analizada mediante en el software ANSYS para verificar si el diseño cumple con los requerimientos de la normativa vigente y la base no se verá comprometida a las cargas aplicadas. A si mismo el análisis numérico se realiza con cargas reales para después esta base sea usada en la industria.

Las estructuras metálicas son importantes en la construcción debido a su resistencia, durabilidad, versatilidad, rapidez en la construcción, sostenibilidad, economía y rentabilidad. Son una opción popular y confiable para una alta gama de aplicaciones en la industria. En la industria es común hacer análisis estructurales y dichos análisis de realizaron en una base.

Durante el análisis estructural, se verificó que el diseño de la base cumpliera con las normativas y estándares relevantes de la industria energética. Esto asegura que la estructura sea segura y confiable en su aplicación.

Se evaluaron los esfuerzos y deformaciones que experimenta la base estructural bajo diferentes condiciones de carga. Esto proporciona información importante sobre la capacidad de la estructura para soportar las cargas aplicadas sin deformaciones excesivas ni tensiones que puedan comprometer su integridad.

ABSTRACT

In the energy industry, is important to manufacture equipment that provides comprehensive solutions and that allows compliance with quality standards. The present work is focused on the numerical analysis and mechanical design of a structural base of A-36 steel that will be used in an air dryer that is made up of instruments, pipes, filters and towers called a dryer; which aim to remove solid particles from the air, oils, gases and mainly moisture, this is important and very commonly used in the industry, as it requires dry air with certain characteristics that the industry demands.

The structure and lifting of this equipment will be designed and analyzed using the ANSYS software to verify if the design complies with the requirements of current regulations and the base will not be compromised by the applied loads. Likewise, the numerical analysis is carried out with real loads for later this base is used in the industry.

Metal structures are important in construction due to their strength, durability, versatility, speed of construction, sustainability, economy, and profitability. They are a popular and reliable choice for a wide range of industrial applications.

During the structural analysis, the foundation design was verified to comply with relevant energy industry regulations and standards. This ensures that the structure is safe and reliable in its application. The stresses and deformations experienced by the structural base under different load conditions were evaluated. This provides important information about the ability of the structure to support the applied loads without excessive deformations or stresses that could compromise its integrity.

Palabras claves: estructura, orejas de izaje, vigas, análisis numérico, base

INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista ingenieril, las estructuras están ligadas a la construcción, entendemos por estructura aquella parte de la construcción que soporta un conjunto, es decir, que es capaz de resistir las diversas acciones que actúan sobre ella (peso propio, sobrecargas de uso, viento, movimientos sísmicos, etc.). [1]

Las bases estructurales son los elementos esenciales que soportan y transmiten las cargas de una construcción, asegurando su estabilidad y resistencia a lo largo del tiempo. [2]

El análisis estructural tiene como objetivo fundamental determinar la respuesta de las estructuras cuando estas se ven sometidas a las diferentes acciones que deben soportar durante la construcción y vida útil. básicamente, tensión y deformación a los que la estructura va a estar sometida por efecto de los diferentes estados de carga que se consideran. [1]

Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, "Zacatenco". Av. Othón de Mendizábal S/N, Edificio 5, 2do. Piso, Col. Lindavista. Alcaldía Gustavo A. Madero, C.P. 07320, Ciudad De México, México.

Alumno de posgrado: pfernandezm1400@alumno.ipn.mx,
guiurri@hotmail.com, BROMEROA@ipn.mx, gurriolagoitia@ipn.mx,
olopezg2100@alumno.ipn.mx.





Una base estructural de acero bien diseñada y construida puede brindar una sólida base para la construcción de edificios o estructuras duraderas y seguras.

Las barras que forman las estructuras se denominan según la función que desempeñan y su forma de trabajar. Se denominan como viga a una pieza o barra horizontal, con una determinada forma en función del esfuerzo que soporta. Están sometidas a esfuerzos de flexión. Están constituidas generalmente en acero, hormigón armado, pretensado, y madera. [3]

ANTECEDENTES

Edad de Hierro: Las primeras evidencias de estructuras metálicas se encuentra en la Edad de Hierro, cuando las civilizaciones antiguas utilizaban el hierro como material de construcción para crear estructuras como puertas y vallas. El hierro era un material valioso y duradero que se utilizaba para fortificar edificios y estructuras defensivas. [4]

En la segunda mitad del siglo XVIII y la primera mitad del siglo XIX, llega la Revolución Industrial con esto se comienza a producir el acero en gran escala.

PERFILES DE ACERO

Las vigas de acero se originaron en la Revolución Industrial, cuando el acero comenzó a utilizarse como un material de construcción más eficiente y económico que la madera o la piedra. El proceso Bessemer, patentado por Henry Bessemer en 1855, permitió la producción masiva de acero, lo que lo convirtió en un material accesible para la construcción de estructuras.[5]

Las vigas I de acero se laminaron en estados unidos en 1884 y la primera estructura reticular (el edificio Home Insurance Company de Chicago) fue montado ese mismo año.[6]

El uso de vigas de acero se popularizó rápidamente en la construcción de edificios y puentes en Europa y Estados Unidos. Con el tiempo, se desarrollaron diferentes tipos de vigas de acero, como las vigas en "I" o "H", que tienen una sección transversal en forma de "I" o "H" y son ampliamente utilizadas en la construcción moderna debido a su eficiencia estructural. [7]

En 1896, la Association of American Steel Manufacturers (ahora el American Iron and Steel Institute o AISI) hizo los primeros esfuerzos para estandarizar los perfiles.

En la actualidad, las vigas de acero siguen siendo ampliamente utilizadas en la construcción de edificios, puentes y otras estructuras, debido a sus propiedades mecánicas, eficiencia y versatilidad. Además, se han desarrollado enfoques sostenibles, como el uso de acero reciclado y la construcción en acero de alta resistencia, para reducir el impacto ambiental de la construcción. [8]

DESARROLLO

El objetivo del presente diseño y análisis es examinar el comportamiento de los elementos que conforman la "Base de acero estructural para secadora de instrumentos" durante la maniobra de izaje, el cual se expresa mediante esfuerzos y desplazamientos, para asegurar que dicho comportamiento se encuentra en los rangos aceptables para la normatividad utilizada, así como el diseño del sistema de izaje. Se pretende mostrar de manera clara

los resultados obtenidos de dicho análisis, incluyendo información técnica que permita interpretar adecuadamente los resultados del mismo.

El análisis de izaje de la "Base de acero estructural para secadora de instrumentos" se realizó como se describe en este trabajo, y está basado en la información técnica aplicable (normas, códigos de diseño y manuales) que se indican en la tabla 1.

Tabla 1.- Información técnica

No.	CÓDIGO/NORMA	DESCRIPCIÓN
1	AISC ASD 9TH Edition	Manual de Diseño de Acero de la American Institute of Steel Construction
2	IMCA 4ta Ed.	Manual de Construcción en Acero – Diseño por Esfuerzos Permisibles, Instituto Mexicano de la Construcción en Acero, A.C.
3	ASME BTH-1	Requisitos y prácticas recomendadas para el diseño, cálculo, análisis, prueba y operación de dispositivos de elevación de carga
4	AWS D1.1/D1.1M:2010	Código de acero para soldadura estructural., American Welding Society.

Para cualquier maniobra de izaje, los cálculos llevados incluyen tolerancias, factores de seguridad, cargas y efectos de carga como se representa a continuación

Se requiere

- El arreglo del izaje
- Numero de grúas y ganchos a usar
- Peso de la estructura
- Geometría del punto de izaje
- Centro de gravedad del sistema

los cuales tendrán como función el dar soporte a los equipos y accesorios, total de peso 4157 kg.

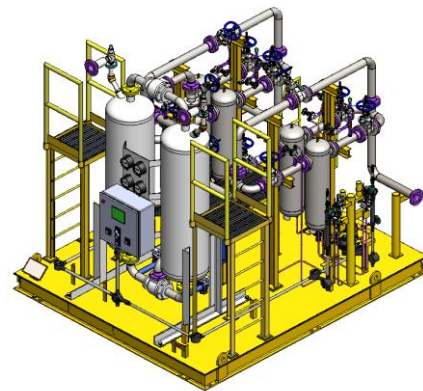


Figura 1.-Isométrico Paquete Secadora de aire.

GENERALIDADES

1.-El análisis será efectuado en ANSYS.



2.-Se ha considerado un sistema de Izaje conformado por cuatro cables de acero de $\varnothing 2''$ conectados a los puntos de izaje de la estructura, los cuales consisten orejas de izaje. A su vez, dichos cables serán soportados por una barra espaciadora, la cual se encuentra sujeta por dos cables más de $\varnothing 2''$ conectados con el gancho de la grúa.

3.-El nodo proporcionado al gancho de la grúa se ha modelado como un apoyo simple, restringiendo sus desplazamientos en (X, Y, Z).

MODELO ESTRUCTURAL

A continuación, se muestra la geometría del modelo empleado para la revisión estructural referente al patín. Se presenta inicialmente el arreglo general del patín, posteriormente el número de juntas y las etiquetas de grupos en los miembros estructurales.

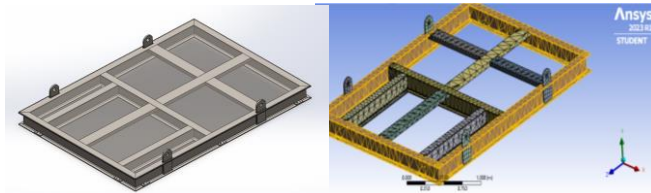


Figura 2.-Isométrico Base Estructural.

El patín estructural está conformado por perfiles W8X13 y canal C 6X13, La carga básica del sistema es el propio peso de los elementos estructurales en este caso 851.19 kg.

En esta sección se muestra la identificación de los nodos que integran el modelo estructural del patín.

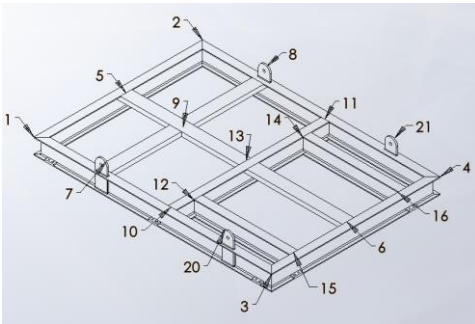


Figura 3.-Identificación de Nodos del Sistema de Izaje.

Al aplicar la masa del sistema de 3305.81 kg, una fuerza de 32397 N, se presentan los resultados obtenidos en el programa computacional de Método de Elemento Finito. Los resultados que se presentan son; deformación total y el esfuerzo de teoría de falla Von Mises (unidades mm).

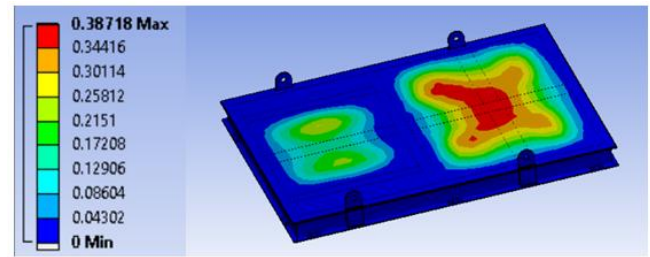


Figura 4. Deformación unitaria total general.

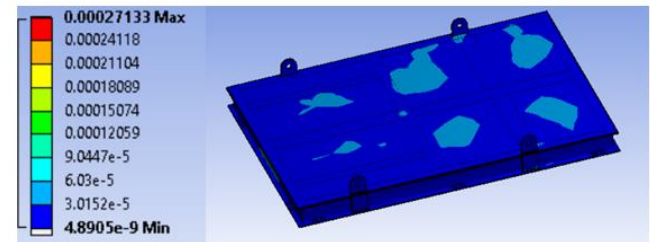


Figura 5. Esfuerzo de teoría de falla de Von Mises.

COMBINACIONES DE CARGA.

La combinación de carga sería el peso total del sistema (4157 kg). Los factores de carga se encuentran calculados conforme a lo indicado el código API-RP-2A-WSD.

Tabla 2.- Factores de carga.

No.	COMBINACION DE CARGA	DESCRIPCIÓN	Factor de Carga
13	CEG	Carga estática del gancho	1.124
14	CDG	Factor de carga dinámica de gancho	1.236
15	CID	Carga de izaje de diseño	1.733
16	CARGA DE IZAJE API RP 2W WSD	Carga de izaje de diseño de acuerdo a API RP 2W WSD	2.0

TENSIONES EN LOS CABLES

A continuación, se presentan los elementos mecánicos obtenidos de las reacciones de los puntos donde estarán ubicadas las orejas y serán conectados a los cables, los cuales se utilizan posteriormente para diseñar las orejas y proponer el diámetro del cable para izaje

Tabla 3.- Tensiones en los cables puestos en las orejas de izaje.

Nodo	L/C	Horizontal Fx Mton	Vertical Fy Mton	Horizontal Fz Mton
7	13 CEG	0	1.557	0
	14 CDG	0	1.727	0
	15 CID	0	2.421	0



	16 CARGA DE IZAJE API RP 2W WSD	0	2.77	0
8	13 CEG	0	1.557	0
	14 CDG	0	1.727	0
	15 CID	0	2.421	0
	16 CARGA DE IZAJE API RP 2W WSD	0	2.77	0
20	13 CEG	0	1.094	0
	14 CDG	0	1.213	0
	15 CID	0	1.7	0
	16 CARGA DE IZAJE API RP 2W WSD	0	1.946	0
21	13 CEG	0	1.094	0
	14 CDG	0	1.213	0
	15 CID	0	1.7	0
	16 CARGA DE IZAJE API RP 2W WSD	0	1.946	0

REVISIÓN DE OREJAS DE IZAJE.

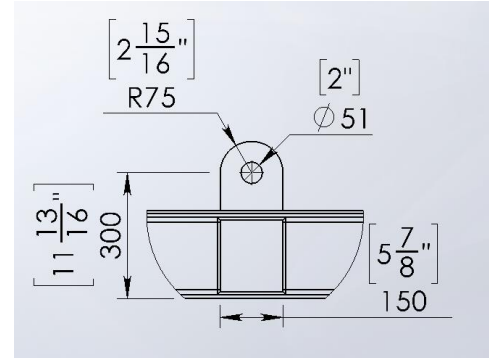


Figura 1.-Detalle de orejas de izaje, placa de 19 mm (3/4") de espesor.

Tabla 2.- Propiedades del acero A-36.

Material base: ASTM A-36			
	ksi	Mpa	Kg/mm2
Esfuerzo por fluencia fy	36	250	25.30
Esfuerzo a la rotura Fu	55	400	40.77

NOMENCLATURA

CEG= Carga estática del gancho
 CDG = Factor de carga dinámica de gancho
 CID = Carga de izaje de diseño
 Fu =Esfuerzo último a la tensión
 Fy =Esfuerzo de fluencia
 Z_{up}=Esfuerzo de fractura por cortante
 Rd= Resistencia por diseño
 F_{exx}=Resistencia última de soldadura
 A_g=area de la sección transversal
 A_e=Area efectiva
 A_{es}=Area efectiva de soldadura
 T=Espesor de la oreja
 dh=Diametro del agujero
 dh'=Diametro del agujerón con rebaje de 1/16"
 h=Cateto o filete de soldadura
 ge=Garganta efectiva
 L_{st}=Longitud de soldadura trnasversal

Tabla 3.- Propiedades del material de aporte.

Material de aporte: E-71T-1			
	ksi	Mpa	Kg/mm2
Esfuerzo último por soldadura	71	490	49.91
Cateto considerado para diseño	6 mm (1/4 in)		

El material de aporte se elige por sus propiedades mecánicas. El E71T-1 pertenece a la categoría de electrodos revestidos con núcleo de flujo, lo que significa que está compuesto por un alambre central (núcleo) recubierto con un material de flujo que se funde durante el proceso de soldadura, formando una escoria protectora que ayuda a proteger el cordón de soldadura del aire y otros contaminantes.

Este tipo de electrodo es ampliamente utilizado en la industria de la construcción naval, la construcción de estructuras metálicas, la fabricación de recipientes a presión y la fabricación de tuberías, entre otros sectores, debido a su alta velocidad de deposición, su capacidad para soldar en todas las posiciones y su buen desempeño en condiciones de soldadura con altos niveles de contaminación, como en la soldadura al aire libre o en ambientes con presencia de viento. [9]



RESULTADOS

Análisis para la resistencia del material.

Resistencia por fluencia debido a la tensión

$$RD1=0.9 \times F_y \times A_g$$

$$A_g = D \times T = 150 \times 19 = 2850 \text{ mm}^2$$

$$Rd1 = 64894.5 \text{ kg}$$

Resistencia por fluencia debido a la tensión

$$Rd2 = 0.75 \times F_u \times A_e$$

$$A_e = (D - A) \times T = (150 - 51) \times 19$$

$$d_h = A = 51 \text{ mm}$$

$$d_h' = 52.58 \text{ mm}$$

$$A_e = 1881 \text{ mm}^2$$

$$Rd2 = 57516 \text{ Kg}$$

Resistencia por desgarramiento cortante:

$$Rd3 = 2 \times L_c \times T \times Z_{up}$$

$$Z_{up} = 0.6 \times F_u = 24 \text{ k/mm}^2$$

$$L_c = (D - d_h') / 2 = 48.71$$

$$Rd3 = 44423.52 \text{ kg}$$

Resistencia de la soldadura

$$Rd4 = 0.75 \times (0.6 \times F_{exx}) \times A_{es} \times (1 + 0.5 \sin(\Theta))^{1.5}$$

$$F_{exx} = 49.91 \text{ kg/mm}^2$$

$$A_{es} = g_e \times L_s = 4 \times 150 = 636$$

$$\Theta = 90^\circ$$

$$g_e = h \times \cos(45^\circ) = 4.24$$

$$L_s = D = 150$$

$$Rd4 = 21426.36$$

Máxima carga de diseño de la Soldadura:

$$RD(\text{min}) = (Rd1, Rd2, Rd3, Rd4) = 21426.36 \text{ kg}$$

Peso requerido por oreja = 2700 kg

Porcentaje de impacto = 25%

Carga a Soportar en la oreja = 3375

Factor de seguridad

$$F.S. = RD(\text{min}) / \text{Carga max} = 21426.36 / 3375 = 6.34$$

F.S. > 5 Ok

CONCLUSIONES.

De los resultados conseguidos durante el análisis de izaje vertical del patín estructural se concluye lo siguiente

1.-El análisis de deformación unitaria total proporciona información sobre en un área que está sometida a tensiones elevadas y puede ser vulnerable a falla, sin embargo, este espacio también se aplicó la carga, siendo en realidad un pasillo libre para operar el equipo, en el análisis de Von mises se determinan que las tensiones no exceden la resistencia del material y la resistencia de la estructura no será vulnerable a una falla.

2.-Las deformaciones máximas de la estructura durante la maniobra de izaje se encuentran dentro de los permisibles., y no provocarán falla en ninguno de los elementos estructurales que conforman el patín.

3.-Las orejas de izaje se han diseñado con la tensión máxima que se presenta, considerando además los factores de seguridad correspondientes, y las relaciones de esfuerzos son menores a la unidad, por lo que su diseño se considera adecuado.

A manera de resumen se puede exteriorizar que de acuerdo los resultados obtenidos del análisis de Izaje y del comportamiento estructural del Skid, serán adecuado en cuanto a esfuerzos en elementos y desplazamientos, cumpliendo con los criterios establecidos en los códigos API RP 2A WSD y AISC ASD 9TH Edition.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- [1] Miguel Cervera Ruiz, Elena Blanco Diaz., Mecánica de estructuras, Ed. CIMNE, pp: 381-382, 2014.
- [2] Jack C. McCorman, Diseño de estructuras de acero, 5ª Edición, Alfaomega, pp 31
- [3] Claudio Giodani, Diego leone, Estructura, UTN
- [4] The Iron Age, Ancient History Encyclopedia
- [5] Bessemer, H. Improved Method of Manufacturing Iron. UK
- [6] Braja M. Das Fundamentos de ingeniería de cimentaciones
- [7] AISC, American Institute of Steel Construction. (2005). Steel Construction Manual, 13th Edition.
- [8] Sustainable Steel Council. (2011). Sustainable Steel Construction: A Guide to Green Building with Steel
- [9] American Welding Society (AWS). (2015). AWS A5.20/A5.20M:2015, Specification for Carbon Steel Electrodes for Flux Cored Arc Welding. Miami, FL: AWS.

De antemano agradecemos su participación en el evento.
Atentamente

Comité organizador





INFORMACIÓN ACADÉMICA

Pablo Andrés Fernández Martínez: Ingeniero en Sistemas Automotrices egresado de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional. Estudiante de Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional.

Guillermo Urriolagoitia Sosa: Ingeniero Mecánico de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Adolfo López Mateos “Zacatenco”.

Maestría en Ciencias en Mecánica de la Fractura en la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional. Maestría en Fatiga por Frotamiento Egresado de la Universidad de Oxford Brooks.

Doctorado en mecánica no lineal

Esfuerzos Residuales en la Universidad de Oxford Brooks.

Actualmente Profesor Investigador de la sección de estudios de posgrado e investigación en la escuela superior e ingeniería mecánica y eléctrica del instituto politécnico nacional

Beatriz Romero Ángeles: Ingeniero Mecánico egresada de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Unidad Adolfo López Mateos “Zacatenco”.

Maestría en Ciencias en Mecánica no Lineal en la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional.

Doctorado en Arresto de Grietas en la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Actualmente Profesor Investigador de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del instituto politécnico nacional.

Guillermo Manuel Urriolagoitia Calderón: Ingeniero Mecánico egresada de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Unidad Adolfo López Mateos “Zacatenco”.

Maestría en la Universidad Imperial de Londres.

Doctorado en la Universidad Imperial de Londres.

Actualmente Profesor Investigador de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del instituto politécnico nacional.

Cajas de la FESC, por lo cual deberá canjear el original del pago junto con una copia legible de su RFC. Esto debe ser antes de pasar a registrarse al evento ya que se le pedirá el comprobante respectivo.

Firma





El incorrecto enfoque de las 5S de la calidad

*Sánchez Baños Oscar**

RESUMEN

El objetivo de esta investigación es analizar la inadecuada interpretación y difusión, que se le ha dado a esta herramienta del Sistema de Producción Toyota (SPT), realizando un estudio sobre la información publicada y la bibliografía que abordan el tema. La forma en que se ha explicado, y difundido las 5S de la calidad, dista de la idea original con que fue desarrollada por Hiroyuki Hirano.

Es una metodología de gestión visual que se originó en Japón en la década de 1960, representa una de las piedras angulares, para el inicio de cualquier sistema de mejora en los procesos empresariales. Las 5S son un conjunto de principios o técnicas que se emplean para implementar y conservar un entorno de trabajo ordenado y seguro, siguiendo los pasos clave, además de brindar los recursos necesarios para cambiar la cultura en la empresa.

A esta técnica simple se le conoce así porque cada uno de los cinco principios inicia con una letra S en japonés: Seiri (seleccionar), Seiton (ordenar), Seiso (limpiar), Seiketsu (estandarizar) y Shitsuke (cultura).

Se pueden encontrar en diferentes sitios de la web, blogs, tesis, algunos artículos de difusión y divulgación de la investigación científica, etc.... haciendo alusión a las supuestas metodologías, las 5S de la calidad, 6S, 6S plus, teoría del sistema de las 7S, de esta manera alterando la idea original del SPT.

Se refutarán algunas aplicaciones que se le han dado a las 5S, para señalar que es incorrecta o no apropiada, utilizando diferentes tipos de argumentos, sin denostar a los autores.

Palabras clave: 5S, metodología, sistema, calidad

ABSTRACT

The objective of this research is to analyze the inadequate interpretation and dissemination that has been given to this tool of the Toyota Production System (TPS), conducting a study on the published information and the bibliography that address the subject. The way in which the 5S of quality has been explained and disseminated is far from the original idea with which Hiroyuki Hirano developed it.

It is a visual management methodology that originated in Japan in the 1960s, it represents one of the cornerstones for the start of any business process improvement system. The 5S are a set of principles or techniques that are used to implement and maintain an orderly and safe work environment, following the key steps, in

addition to providing the necessary resources to change the culture in the company.

This simple technique is so called because each of the five principles begins with an S in Japanese: Seiri (select), Seiton (order), Seiso (clean), Seiketsu (standardize), and Shitsuke (culture).

They can be found on different web sites, blogs, theses, some articles for the dissemination and dissemination of scientific research, etc.... alluding to the methodologies, the 5S of quality, 6S, 6S plus, system theory of the 7S, thus altering the original idea of the SPT.

Some applications that have been given to 5S will be refuted, to point out that it is incorrect or inappropriate, using diverse types of arguments, without insulting the authors.

Keywords: 5S, methodology, system, quality

INTRODUCCIÓN

La mayoría de los trabajadores de planta, están acostumbrados como parte de sus labores a buscar piezas, carros de transporte, herramientas, plantillas o materiales auxiliares, cuantas más cosas buscan, más se reduce la productividad, el personal no suele advertir que invierte tiempo buscando cosas a lo largo del proceso. El concepto de las 5S, no deberían resultar nada nuevo para la alta dirección de la empresa, pero desafortunadamente sí lo es. La misión de esta herramienta es optimizar el entorno de trabajo, facilitar la labor de los trabajadores e incrementar su capacidad para la detección de problemas. Con su implementación se consigue mejorar la productividad, aumentando la capacidad del proceso. El logro de los resultados depende del liderazgo empresarial, así como de la participación y compromiso de todo el personal en la organización, lo que implica sumar esfuerzos para contribuir a la disminución de mudas, manteniendo un lugar de trabajo limpio, optimizando la utilización de las herramientas, esto trae como consecuencia mejorar el ambiente laboral, la moral del trabajador, disminuir paros por averías, en suma adoptar una forma diferente de hacer las cosas, para adquirir una nueva cultura en los trabajadores.

Las 5S son un sistema de gestión visual, que se utiliza para organizar, mantener y alcanzar mejoras en la organización de un lugar de trabajo (gemba en japonés) [1], mediante la formación de hábitos de orden y limpieza, desarrollada por primera vez en el medio industrial en Japón [2], su objetivo es lograr áreas laborales organizadas y seguras de forma permanente. Consiste en desarrollar actividades para optimizar el entorno laboral, por su sencillez permiten la participación de todos en la empresa, aprovechando mejor los recursos, el tiempo, hacer visibles y

*Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Departamento de Ingeniería, Sección Industrial, scoscar@yahoo.com, Maestro en Ciencias de la Ingeniería Industrial.



evidentes los problemas, dando como resultado la seguridad de personas, equipos y la productividad, en un ambiente agradable.

La metodología es algo más que una simple campaña de limpieza [2], es un compromiso para mejorar en beneficio de todos, aplicando un conjunto de principios y técnicas, cuyo propósito específico se enfocan en un área particular de mejora, juntas forman un sistema, una cita del profesor Ytsuda: “organizar, ordenar y limpiar no es pagar o pedir al personal que limpie, es un planteamiento sistemático de gestión”.

A continuación se describen: Seiri: seleccionar los artículos que no se necesitan en el área de trabajo y deshacerse de ellos, Seiton: ordenar los artículos necesarios, estableciendo lugares específicos, de modo que se puedan localizar y utilizar fácilmente, Seiso: eliminar la suciedad y mantener el área de trabajo limpia, de tal manera que no haya polvo en los pisos, máquinas o equipos, Seiketsu: estandarizar los procedimientos, prácticas y actividades, logradas en las tres primeras etapas, para que se realicen conscientemente de manera regular la limpieza en el área de trabajo y Shitsuke: entrenar al personal para que las actividades de las 5S, se conviertan en una cultura, manteniendo el compromiso de todo el personal, las etapas se interrelacionan en el proceso. Esta metodología es empleada habitualmente como punto de partida para introducir la mejora continua en las organizaciones. Esto se debe a que no se requieren tecnologías ni conocimientos especiales para implementarlas, únicamente disciplina y autocontrol por parte de cada uno de los empleados en la organización.

DEFINICIÓN

Las 5S constituyen una herramienta para lograr mejoras de gestión empresarial, enfocándose en la productividad, la limpieza y la eficiencia en el gamba, a través de hábitos, esto se logra implementando concertadamente las cinco etapas en el piso de producción, cada una sirve de fundamento a la siguiente, para mantener sus beneficios de manera permanente.

Esta metodología, permite realizar un análisis sencillo y sistemático, de cómo puede mejorarse el entorno laboral, su estrategia consiste en optimizar el almacenamiento de herramientas y equipo de trabajo, para mantener los artículos de uso frecuente junto al trabajador para un acceso rápido, no es necesario intentar hacerla compleja, las ideas utilizadas son sencillas, la mayoría se basan en el sentido común, sin embargo, su objetivo principal es educar a los trabajadores, provocando una actitud que reafirme sus hábitos, para mantener su entorno de trabajo ordenado y limpio con poco esfuerzo [3].

La metodología está dividida en dos ciclos. El primero comprende las tres primeras etapas, que se denominan fase activa o de ejecución, el segundo ciclo, comprende las dos últimas etapas que se denomina fase efectiva o de consolidación [2].

Gestionar la metodología 5S, para su aplicación de forma general en cualquier ambiente, se deberán considerar cuatro procesos [4]:

1. Planear. En donde se establecen los plazos de las acciones a realizar en cada etapa.
2. Reunión de departamento. Donde se ponen en común las propuestas de cada acción para ser aprobadas por los trabajadores,

por ejemplo, las definiciones, las ubicaciones, los etiquetados, los protocolos, entre otras.

3. Ejecución. Se llevan a cabo las acciones propuestas y aprobadas, en el tiempo marcado.

4. Control. Siempre se debe realizar un control de cada etapa, para asegurar su correcta ejecución.

Se detalla la metodología:

La primera etapa, Seiri, se refiere a la clasificación y eliminación de elementos innecesarios del lugar de trabajo, esto implica hacer una evaluación exhaustiva de todos los elementos y herramientas, para identificar aquellos que no se utilizan con frecuencia o que son obsoletos y, por lo tanto, deben ser separados. La idea detrás de esta etapa es que al retirar los elementos innecesarios se reduce la cantidad de desorden, se crea más espacio y se facilita la identificación de los elementos importantes. Con esta segregación no solo se crea un ambiente de trabajo más limpio y ordenado, sino que también aumenta la eficiencia al reducir el tiempo perdido en buscar herramientas o materiales. Se debe hacer una evaluación cuidadosa para determinar si un elemento es realmente innecesario, por no ser utilizados con frecuencia u obsoletos, considerando que el objetivo no es simplemente deshacerse de elementos que no se utilizan, se debe verificar si pueden ser reutilizados en otras áreas, vendidos o donados.

La segunda etapa, Seiton, se enfoca en organizar y dar un lugar específico a cada elemento. Esta etapa implica establecer un lugar designado para cada herramienta, material y equipo en el lugar de trabajo, con el fin de facilitar su identificación y acceso. Al hacer esto, se reduce el tiempo perdido en la búsqueda de herramientas o materiales y se mejora la eficiencia en general. Es importante tener en cuenta que no se trata simplemente de colocar los elementos en cualquier lugar, se debe hacer una evaluación cuidadosa de la frecuencia de uso y la importancia de cada elemento para determinar el lugar ideal donde debe colocarse. Los elementos que se utilizan con frecuencia y que son importantes deben estar ubicados en lugares de fácil acceso, mientras que los elementos que se utilizan con menos frecuencia pueden ser almacenados en lugares menos accesibles.

La tercera etapa, Seiso, se refiere a la limpieza y el mantenimiento del lugar de trabajo. Se debe eliminar toda la suciedad, polvo o desechos propios de la actividad, que puedan haberse acumulado en el lugar de trabajo. La limpieza debe ser una actividad permanente. Al mantener un lugar de trabajo limpio y ordenado, se mejora la eficiencia, se reduce el riesgo de accidentes, fomentando un ambiente de trabajo más agradable. La limpieza en esta fase no solo se trata de retirar la suciedad y los desechos, sino que también debe enfocarse en la detección y corrección de problemas en las máquinas y herramientas utilizadas. Esto incluye la identificación y corrección de problemas en los equipos antes de que se conviertan en fallas mayores. La limpieza es una actividad de gran importancia que debe hacerse en el lugar de trabajo, debido a que se puede apreciar si un equipo o maquinaria fuga aceite, si produce rebabas, si existen fugas de cualquier tipo, si hay tornillos sin apretar, etc....

La cuarta etapa, Seiketsu, se enfoca en la estandarización de procedimientos para mantener el lugar de trabajo ordenado y



limpio, reforzando las tres etapas anteriores. Esto implica la creación de un manual de procedimientos, el establecimiento de un sistema de mantenimiento preventivo de la metodología y la implementación de una serie de medidas para mantener el lugar de trabajo seguro y organizado.

La quinta y última etapa, Shitsuke, se refiere a la disciplina y la mejora continua, se busca asegurar que los principios y técnicas de las cuatro etapas anteriores se mantengan y se mejoren continuamente, implica establecer una cultura en la que los empleados se sientan comprometidos con la implementación del sistema para que trabajen juntos, encontrando formas de mejorar constantemente los procesos [5].

OTROS CONCEPTOS

Con la finalidad de poder comprender la calidad se puede definir, que un producto de calidad debe estar libre de errores¹ defectos² y fallas³, lo importante es reconocer la diferencia entre ellos para usar cada concepto de una manera apropiada, además de que el producto debe ser adecuado al uso o funcionalidad. El reconocimiento de que un defecto está a punto de ocurrir se denomina "predicción", y reconocer que un defecto ya ha ocurrido se denomina "detección", por lo que las 5S en sus dos ciclos, no tienen la capacidad de predecir o detectarlos, para lograr la calidad de un producto, por lo que no están asociadas a la calidad.

LA CASA TOYOTA

Los desarrolladores del Sistema de Producción Toyota, para explicarlo y hacerlo extensivo a sus proveedores crean el concepto de la casa Toyota. Si se observa la estructura de la casa, presenta un objetivo en el techo donde se encuentran las tres premisas del STP que son: mayor calidad, entregas a tiempo y menor costo; estas están soportadas por dos principios como pilares, uno enfocado a la producción y el segundo a la calidad, es decir el JIT y el Jidoka respectivamente, como se muestra en la figura 1.

Jidoka es la fase de automatización del trabajo hombre-máquina, es simplemente, colocar la pieza de trabajo, encender la máquina y dejar que realice el proceso. Sin embargo, en este caso el trabajador no necesita preocuparse por los defectos, debido a que la misma máquina detectará cuando ha ocurrido un error y

automáticamente parará. Además de los mecanismos de detección de fallas, incluye mecanismos de alimentación y de extracción de piezas, eliminando completamente la participación de un trabajador.

La metodología de las 5S se encuentra en la base de la casa, como parte de los bloques fundamentales, sobre los cuales se encuentran el control visual, las operaciones estándar, así como otros bloques que la constituyen, es decir no son una herramienta de mejora de la calidad.

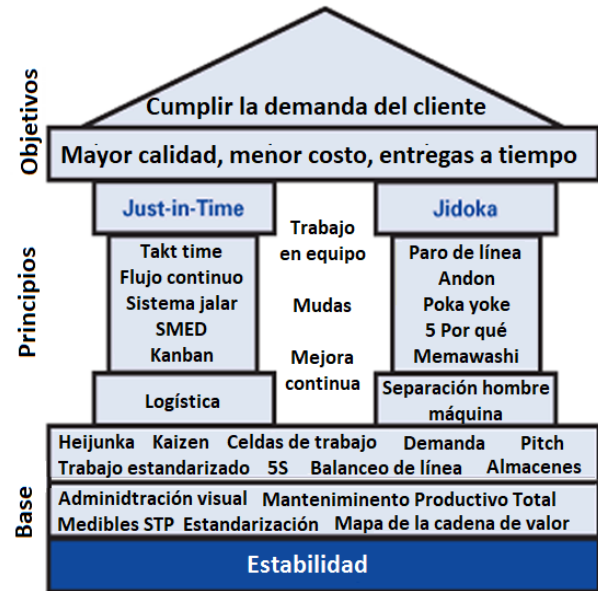


Figura 1. La casa Toyota
Fuente: elaboración propia

En el SPT cuyo propósito es satisfacer las necesidades del cliente procesando únicamente la cantidad solicitada, no contempla producir piezas defectuosas, parando inmediatamente la producción para corregir las anomalías detectadas, también se puede hablar de la eliminación de las mudas para reducir costos. El sistema es más que un kit de herramientas, es una filosofía, una cultura, un modelo de empresa que se caracteriza por un proyecto a largo plazo y por una corresponsabilidad ética de todo el personal. Asegurar la calidad es esencial tanto para la producción jalar como para la producción en masa a gran escala, la calidad es la característica fundamental de producción, sin importar el sistema de fabricación empleado, o visto de otra forma es entregar al cliente productos libres de algún error, defecto o falla.

DESARROLLO

El tipo de investigación realizada fue documental, permitiendo estudiar las reflexiones de diferentes autores en el contexto de la aplicación de las 5S, para evidenciar la importancia de su adopción, además de revisar los diversos tipos de enfoque que le brindan a su implementación.

A continuación, se presentan algunos análisis realizados:

¹ Un error es cualquier desviación no esperada o planeada de un proceso u operación, se puede definir como cualquier equivocación o falla cometida en la ejecución de una actividad durante el proceso productivo. El error es una acción humana que produce un resultado incorrecto, por ejemplo, un error de ensamble.

² Un defecto es un producto o servicio que se desvía de un estándar o especificación, de esta manera no cumple las expectativas del cliente. El defecto se encuentra en algún componente del sistema, que tiene como consecuencia que alguna característica se salga de las especificaciones requeridas en un producto, y como resultado éste deba ser rechazado. El defecto de un componente o sistema es la causa por la cual el producto no logra llevar a cabo una función específica.

³ La falla es la manifestación visible del defecto, ya sea física o funcional, es decir, en la ejecución de pruebas dinámicas del producto se detectan anomalías en alguna de las características de su desempeño, produciendo un mal funcionamiento del producto. Si bien se puede pensar que un defecto y un error son lo mismo, no es así. Los defectos son los resultados y los errores son las causas de los resultados. Un defecto existe en dos estados: está a punto de ocurrir o ha ocurrido ya.



Los años de la documentación revisada, se muestran en la figura 2, del año 2000 al 2012 solo se encontraron 6 publicaciones, del 2013 al 2022, se encontró la gran mayoría de publicaciones, presentando en 2018 la mayor cantidad, como se muestra en la figura 2.



Figura 2. Años de publicación de las 5S
Fuente: elaboración propia

También se ha encontrado que en los países de América latina es donde se concentra la mayor cantidad de publicaciones, la información está concentrada en Perú, Colombia y Ecuador, como se muestra en la figura 3.



Figura 3. Publicaciones de las 5S en países de América latina
Fuente: elaboración propia

Otro dato importante, las publicaciones se centran en procesos de diferentes empresas dedicadas a la metalmecánica, fabricación de muebles, la confección, seguidas de educación y PYMES, en algunos casos se aplica a la calidad de vida, entre otros, como se muestra en la figura 4, en algunos casos apoyados por metodologías de la calidad como Seis Sigma, ISO 9000 y otros.

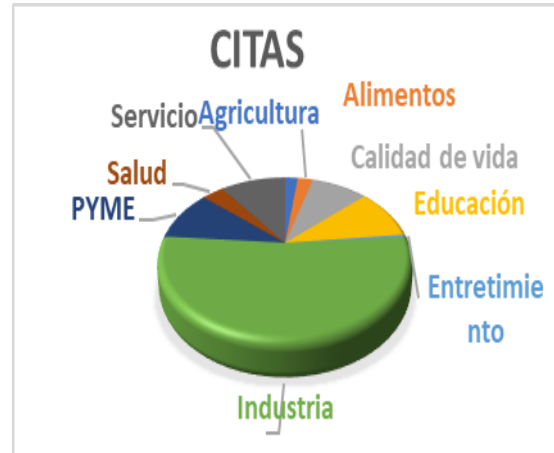


Figura 4. Publicaciones en diferentes sectores industriales
Fuente: elaboración propia

En la documentación analizada algunos autores aseveran:

- 5S podría ser considerada como una herramienta efectiva para mejorar las empresas manufactureras. Más no dicen cómo beneficia a la calidad.
- Mejora de procesos en las áreas de mezclado y molienda de una empresa manufacturera, aplicando herramientas de calidad y lean manufacturing, de esta manera no hace referencia a las 5S.
- Como resultado de la implementación de las 5S, disminuyeron los tiempos de tránsito y muertos, además de la estandarización de actividades, se redujeron los casos de contaminación del compuesto, a la par generó un cambio de cultura en los colaboradores. Si se analiza en este caso solo beneficia a la productividad, pero no a la calidad.

EXPLICACIÓN DE LA HIPÓTESIS PRESENTADA.

Argumento de eficacia: Se puede refutar que las 5S no son de la calidad, por si solas, no pueden mejorar la calidad del producto, si fuera una herramienta destinada para este fin, no cumple con las metodologías mínimas para mejorar los procesos, no reduce ningún defecto del producto, es decir una o varias de las S son para organizar, clasificar y limpiar el gemba, como se mencionan en la introducción de este documento, sin embargo, si pueden ser efectivas para incrementar la productividad. Como afirmación, se argumenta que, con una mayor inversión en tecnología, así como en capacitación de personal sería más efectiva una metodología para mejorar la calidad del producto, en la actualidad existen varios sistemas dedicados para la gestión de la calidad.

Argumento de costo-beneficio: Se puede refutar que el costo de implementar las 5S de la calidad es demasiado alto en relación con los beneficios que se obtienen, en función de incrementar la calidad del producto. Por ejemplo, se argumenta que los costos de tiempo y recursos necesarios para implementar las 5S son mayores que los beneficios obtenidos en términos de la calidad.

Argumento de enfoque: Se puede refutar que el enfoque de las 5S de la calidad es demasiado limitado y que no aborda otros aspectos importantes en la gestión empresarial, como la reducción de



defectos, el control del proceso, o brindar planes de mejora al producto-proceso, por lo que no es una norma o método para incrementar la calidad, o dar seguimiento a la satisfacción del cliente.

Argumento lógico: Algunas personas añaden otra palabra japonesa que empieza con una ese y hablan de 6S, sin embargo, las 5S son suficientes para comunicar los conceptos básicos del Seiri y del Seiton, están en la raíz de los otros elementos básicos, como la reducción de costos, la seguridad y cero averías Seiso, como parte del mantenimiento autónomo, se debe recordar que uno de sus fines es crear lugares seguros, y no para incrementar la calidad.

Contraejemplo: Para ser una herramienta de la calidad debe cumplir con varios requisitos, como es la observación, para analizar cómo sucede u ocurre dicho defecto, se debe tomar en cuenta que las 7 herramientas básicas de la calidad se considera que puede reducir hasta el 95% de los defectos, primero, con herramientas como la recolección de datos, a continuación se puede realizar un análisis a través de una estratificación, deduciendo donde están sucediendo los defectos con un diagrama causa y efecto, se puede tomar una causa y compararla con el diagrama de Pareto el 20% de los vitales, pudiera ser considerada como una posibles solución, otra herramienta analítica muy poderosa que lleva a una hipótesis de dónde están los defectos son los 5 porqués, se pueden seguir mencionando varias herramientas más, pero las 5S por sí mismas no corrigen los defectos o los errores por lo tanto no son herramientas preventivas de la calidad y no forman parte de un sistema de tal relevancia.

Es importante destacar que estos argumentos no necesariamente refutan las 5S de la calidad de manera concluyente. En estos casos, para la alta gerencia le puede ser más importante la aplicación de otras metodologías, como los sistemas de gestión de calidad certificados, con herramientas y metodologías creadas exprofesamente para mejorar la calidad, eliminando la causa raíz del problema. Al hacerlo, se pueden evitar errores costosos, tomando decisiones más certeras y adecuadas para cada situación.

CONDICIONES QUE AFECTAN UNA IMPLEMENTACIÓN ADECUADA

Ceguera de taller, errores de conceptualización de las 5S, un programa aislado de implementación, sin reconocimiento a los participantes, se ha implementado en el pasado sin éxito, sin cultura, sin constancia en el propósito, sin disciplina ni claridad en lo que se pretende.

CONCLUSIÓN

Se puede afirmar que las 5S son un medio, pero no un fin para la calidad. La metodología de las 5S es la base para que se establezcan las demás metodologías. Sirven para la mejora continua en la empresa con una sólida organización y limpieza tanto en los puestos de trabajo, como a nivel de oficinas. Las herramientas del SPT, de manera holística constituyen un gran avance para la implementación de mejoras en los procesos que generan valor. Sin embargo, los elementos con mayor importancia tienen que ver con la cultura y los hábitos desarrollados por los trabajadores a lo largo del tiempo. Por lo tanto, al hablar de orden

y limpieza se considera no solamente la aplicación de una herramienta básica, sino el desarrollo de una cultura que establezca bases sólidas para la edificación y aplicación de muchas otras herramientas.

De acuerdo con el análisis realizado se puede afirmar que a partir del 2013 y hasta el 2022 se concentran el 90% de las publicaciones de las 5S de la calidad, así mismo se encontró que el 93% se encuentra en países de América latina, finalmente la mayor cantidad de citas que se realizan son para la industria de la confección y la fabricación de muebles, por lo que se puede concluir que a partir de 2013 por una publicación mal fundamentada, se realizó la difusión inadecuada de la metodología, en la figura 5 se muestra la región de mayor saturación, con el 40% de las publicaciones.



Figura 5. Región más saturada de publicaciones
Fuente: elaboración propia

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Faulí Marín, Alicia, Et Al. Implantación del sistema de calidad 5s en un centro integrado público de formación profesional. Revista Electrónica Interuniversitaria de Formación del Profesorado [en línea]. 2013, 16(2), 147-161 [fecha de Consulta 15 de mayo de 2023]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=217029557011>
- [2] Planificación de Acciones 5S. Fecha de Consulta 7 de mayo de 2023 Disponible en: <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/30166/fichero/8.-BIBLIOGRAFIA.pdf>
- [3] Manzano Ramírez, M. y Gisbert Soler, V. (2016). Lean Manufacturing : implantación 5S. 3C Tecnología: glosas de innovación aplicadas a la pyme, 5(4), 16-26. DOI: <<http://dx.doi.org/10.17993/3ctecno.2016.v5n4e20.16-26/>>.
- [4] Jara Riofrío, Marco Antonio. (2017) El método de las 5s: su aplicación. Ecuador.
- [5] Diseño de un plan de mejora mediante las metodologías 5s y smed para una línea de mecanizado 3.-Planificación de Acciones 5S [fecha de Consulta 15 de mayo de 2023]. Disponible en: <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/30166/fichero/5.-PLANIFICACION+DE+ACCIONES+5S.pdf>



INFORMACIÓN ACADÉMICA

Oscar Sánchez Baños: Ingeniero Mecánico Electricista egresado de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM, durante más de veinte años ocupó cargos Gerenciales en diferentes departamentos como: Control de Calidad, Producción, Operaciones y Servicios (Atención a Clientes); en varias empresas del ramo electrónico, metalmecánica y automotriz, ocupó un puesto administrativo como Jefe de la Sección Industrial, del departamento de Ingeniería de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Actualmente se desempeña como Profesor de Asignatura “B” definitivo del Departamento de Ingeniería, sección Industrial, realizó estudios de Maestría en Ciencias en Ingeniería Industrial, en el Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco, y es Miembro del Comité Académico del CENEVAL.
scoscar@yahoo.com





Modelo productivo “RAS” para cultivo de media tonelada de langosta *Cherax Quadricarinatus*

Naiobi Van Vértiz Figueroa¹, Viridiana Rivero Camacho¹, Gabriela Moreno Viguera¹, Iván Alberto Vértiz Maldonado^{2,3}, Milton Uri Bautista Garrido⁴

RESUMEN

En la actualidad el constante crecimiento de los requerimientos alimenticios ha generado una explotación alarmante de los recursos naturales, esto se ve reflejado en la llegada prematura del día de la sobrecapacidad de la tierra (Montejo, E. 2023) día en el que se agotan los recursos naturales programados para un año, acentuando así la importancia de producir alimentos saludables y nutritivos de una manera sustentable y sostenible (Johnson, R. F. 2023, 2 agosto).

El presente trabajo, propone un modelo productivo acuícola para el cultivo de media tonelada de la especie *Cherax Q.* en un área de producción máxima de 1000 m², que incluye la elección hidráulica mediante los cálculos de mecánica de fluidos correspondientes, como soporte del desempeño del modelo conceptual aplicando el método EPS para la elección de la densidad poblacional mediante un algoritmo de evaluación, tomando el modelo RAS (Sistema de Acuicultura de Recirculación) para su desarrollo.

ABSTRACT

Currently, the constant growth of food requirements has led to an alarming exploitation of natural resources, as reflected in the early arrival of Earth Overshoot Day (Montejo, E. 2023), which states that all the resources that could have been regenerated throughout the year have been depleted, thus emphasizing the importance of producing healthy and nutritious food in a sustainable and sustainable manner (Johnson, R. F. August 2, 2023).

This paper proposes an aquaculture production model for cultivating half a ton of the *Cherax Q.* species in a maximum productive area of 1000 m², which includes hydraulic selection through corresponding fluid mechanics calculations, as support for the performance of the conceptual model, applying the EPS method for choosing population density through an evaluation algorithm, using the Recirculating Aquaculture System (RAS) model for its development.

Palabras claves: Modelo, Sistema, *Cherax*, Acuicultura, Producción

INTRODUCCIÓN

La langosta de agua dulce conocida como *Cherax quadricarinatus* es una especie tropical originaria de los ríos del noroeste de Queensland y el Territorio del Norte en Australia, permaneciendo desconocido para el mundo hasta fines de la década de 1980, cuando se probó para la acuicultura, demostrando ser adecuado para el cultivo y la industria de la acuicultura (De Ecología y Cambio Climático, I. N. 2021).

La especie presenta una serie de atributos físicos, biológicos y comerciales que lo convierten en un candidato ideal para la acuicultura comercial (Millan, M. 2017). Es físicamente robusto con un amplio potencial geográfico, tiene un ciclo de vida simple y una tecnología de producción adaptable, requiere una dieta baja en proteínas y su producción es económica. Su textura y sabor se compara con los crustáceos marinos consumidos comúnmente y teniendo la apariencia de una langosta marina, se podría posicionar en el espectro del mercado de crustáceos.

En este estudio se plantea un algoritmo que en base a un análisis técnico, metodológico y de procesos, permite realizar modelos de cultivo, crecimiento y desarrollo del producto, con el fin de cultivar y desplegar la especie para uso individual y/o comercial, al adaptar, desarrollar e implementar el sistema productivo de forma sustentable en el estado de México.

La asimilación y extracción de técnicas de reproducción masiva para uso comercial, busca determinar los procedimientos industriales que permitan definir la metodología para implementar un modelo competitivo respecto a los sistemas actualmente utilizados.

ANÁLISIS DE DATOS

A pesar de que el *Cherax Quadricarinatus* es una especie con altos beneficios productivos se considera invasora (Instituto Nacional de

¹ Universidad Politécnica del Valle de México, División Ingeniería Industrial, División Ingeniería Mecatrónica, investigacionupvm@gmail.com, Estudiantes de Licenciatura.

² Universidad Politécnica del Valle de México, División Ingeniería Industrial, investigacionupvm@gmail.com, Profesor Investigador de tiempo completo

³ Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Azcapotzalco, Academia Hidráulica, Catedrático

⁴ Universidad Politécnica del Valle de México, División Ingeniería Industrial, uri.bautista@upvm.edu.mx, Profesor Investigador de tiempo completo





Pesca. 2019, 21 marzo), por lo que la propuesta del modelo conceptual se enfoca en un ambiente cerrado y controlado para evitar la proliferación de la especie en el ecosistema, pero priorizando el cultivo y crecimiento sostenible de la especie.

En base a lo expuesto, se llevó a cabo el diseño del modelo funcional propuesto, se establecieron las dimensiones adecuadas tomando en cuenta la densidad poblacional para aprovechar al máximo los espacios, considerando que la especificación de movilidad debe ser 3 veces el volumen total de fluido contenido en el sistema por hora, adaptando así al modelo de producción propuesto al método RAS, donde se aprovechan los recursos naturales involucrados en el proceso, en este caso el agua, la inclinación del terreno, así como nivelaciones convenientes para el sistema.

Se diseñó una serie de estanques que simularían un río artificial, de tal manera que la crianza de la langosta Cherax Q. sea controlada. El esquema consta de cuatro estanques de especies jóvenes y seis estanques de engorda (mostrado en la figura 1). Para las dimensiones y el funcionamiento del sistema, en cuanto al flujo y turbulencia del agua, fueron consideradas las necesidades del entorno para la especie; la cantidad de especímenes que se desean obtener y las densidades del cultivo de la especie, que abarca desde la etapa joven, hasta la madurez del individuo.

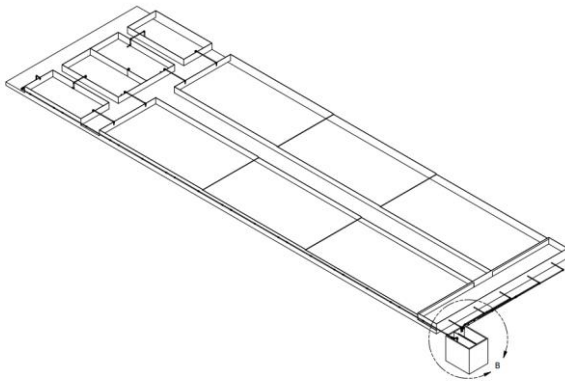


Figura 1.-Layout de los estanques

Nota: Elaboración propia

El sistema incluye una filtración sump plumblig para el tratamiento mecánico, químico y biológico del medio, que permite controlar las condiciones fundamentales modelo.

MEMORIA DE CÁLCULO

A continuación, se muestran los cálculos implementados con la finalidad de facilitar la elección de elementos para la correcta ejecución del sistema modelo.

Los cálculos efectuados permiten corroborar la elección de los accesorios y equipos del sistema de circulación propuesto. Para comenzar se toma en cuenta la capacidad de fluido que tiene cada uno de los tanques del modelo.

Tabla 1.- Medidas de los estanques

Nota: Elaboración propia.

Estanques	Altura	Nivel del agua	Longitud	Ancho
Criadero	0.60 m	0.52 m	6 m	3 m
Engorda Etapa 1	0.55 m	0.47 m	12 m	6 m
Engorda Etapa 2	0.50 m	0.42 m	12 m	6 m
Engorda Etapa 3	0.45 m	0.40 m	12 m	6 m

Cálculo de volúmenes de los estanques y volumen total

$$V = l \times w \times h \quad (1)$$

$$V_1 = (0.52)(6)(3)(4) = 37.44m^3$$

$$V_2 = (0.47)(12)(6)(2) = 67.68m^3$$

$$V_3 = (0.42)(12)(6)(2) = 60.48m^3$$

$$V_4 = (0.40)(12)(6)(2) = 57.6m^3$$

$$V_t = 37.44m^3 + 67.68m^3 + 60.48m^3 + 57.6m^3 = 223.2m^3$$

Con este valor se determina el flujo volumétrico para el cálculo del sistema. Así mismo se incluyen datos de las propiedades de la tubería (Tablas 2).

Tabla 2.-Dimensiones de tubería de PVC

Unidades del SI				
Tubería plástica de PVC a presión —tamaños seleccionados				
Diámetro exterior OD (mm)	Espesor de pared t (mm)	Diámetro interior ID (mm)	Área de flujo A (m ²)	Clasificación de presión p (bar)
16	1.5	13.0	1.327 × 10 ⁻⁴	16
20	1.5	17.0	2.270 × 10 ⁻⁴	16
25	1.9	21.2	3.530 × 10 ⁻⁴	16
32	2.4	27.2	5.811 × 10 ⁻⁴	16
40	3.0	34.0	9.079 × 10 ⁻⁴	16
50	2.4	45.2	1.605 × 10 ⁻³	10
50	3.7	42.6	1.425 × 10 ⁻³	16
63	3.0	57.0	2.552 × 10 ⁻³	10
63	4.7	53.6	2.256 × 10 ⁻³	16
75	3.6	67.8	3.610 × 10 ⁻³	10
75	5.6	63.8	3.197 × 10 ⁻³	16
90	2.8	84.4	5.595 × 10 ⁻³	6
90	4.3	81.4	5.204 × 10 ⁻³	10
90	6.7	76.6	4.608 × 10 ⁻³	16
125	3.1	118.8	1.108 × 10 ⁻²	6

Nota: Recuperado de Mott, R. L. (2006). MECANICA DE FLUIDOS (6a. ed., 1a. reimp.). Mexico: Pearson Educacion



Cálculo de caudal

$$Q = \frac{V}{t} \quad (2)$$

Q = Flujo Volumétrico o Caudal, $\frac{m^3}{s}$

V = Volumen, m^3

t = Tiempo, s

$$Q = \frac{223.2m^3}{3600s} = 0.062 \frac{m^3}{s}$$

$$Q = 0.062 \frac{m^3}{s} \left(\frac{1000lt}{1m^3} \right) = 62 \frac{lt}{s}$$

Propuesta de 3 veces volumen en caudal $186 \frac{lt}{s}$

Cálculo de área

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (3)$$

A=Área, m^2

D=Diámetro, m

$$A = \frac{\pi(0.064)^2}{4} = 0.0032m^2$$

Cálculo de la velocidad de fluido

$$Q = A * v \quad (4)$$

$$v = \frac{Q}{A} \quad (5)$$

v= Velocidad del fluido, $\frac{m}{s}$

Q= Flujo Volumétrico o Caudal, $\frac{m^3}{s}$

A= Área, m^2

Debido a que la especie requiere una temperatura de 25° C, se verifica las propiedades del agua (Tabla 3) en ese parámetro de temperatura, dato fundamental para realizar los cálculos del número de Reynolds.

Tabla 3.- Propiedades del Agua

Temperatura (°C)	Peso específico γ (kN/m ³)	Densidad ρ (kg/m ³)	Viscosidad dinámica η (Pa·s)	Viscosidad cinemática ν (m ² /s)
0	9.81	1000	1.75×10^{-3}	1.75×10^{-6}
5	9.81	1000	1.52×10^{-3}	1.52×10^{-6}
10	9.81	1000	1.30×10^{-3}	1.30×10^{-6}
15	9.81	1000	1.15×10^{-3}	1.15×10^{-6}
20	9.79	998	1.02×10^{-3}	1.02×10^{-6}
25	9.78	997	8.91×10^{-4}	8.94×10^{-7}
30	9.77	996	8.00×10^{-4}	8.03×10^{-7}
35	9.75	994	7.18×10^{-4}	7.22×10^{-7}
40	9.73	992	6.51×10^{-4}	6.56×10^{-7}
45	9.71	990	5.94×10^{-4}	6.00×10^{-7}
50	9.69	988	5.41×10^{-4}	5.48×10^{-7}
55	9.67	986	4.98×10^{-4}	5.05×10^{-7}
60	9.65	984	4.60×10^{-4}	4.67×10^{-7}
65	9.62	981	4.31×10^{-4}	4.39×10^{-7}
70	9.59	978	4.02×10^{-4}	4.11×10^{-7}
75	9.56	975	3.73×10^{-4}	3.83×10^{-7}
80	9.53	971	3.50×10^{-4}	3.60×10^{-7}
85	9.50	968	3.30×10^{-4}	3.41×10^{-7}
90	9.47	965	3.11×10^{-4}	3.22×10^{-7}
95	9.44	962	2.92×10^{-4}	3.04×10^{-7}
100	9.40	958	2.82×10^{-4}	2.94×10^{-7}

Nota: Recuperado de Mott, R. L. (2006). MECANICA DE FLUIDOS (6a. ed., 1a. reimp.). Mexico: Pearson Educacion

Numero de Reynolds

$$NR = \frac{\rho v D}{\mu} \quad (6)$$

NR= Número de Reynolds

ρ = Densidad del fluido, $\frac{kg}{m^3}$

\bar{v} = velocidad media del flujo, $\frac{m}{s}$

D= Longitud característica (diámetro), m

μ = Viscosidad dinámica de fluido

$$NR = \frac{((19.375) \frac{m}{s})((0.0032)m)}{(8.94 \times 10^{-7})} = (69,350.23) \text{ turbulento}$$

Este indicador se utiliza para calcular las pérdidas primarias y así definir la potencia necesaria de la bomba, junto con la rugosidad relativa.



Tabla 4.- Rigurosidad de tubería

Material	Rugosidad ϵ (m)	Rugosidad ϵ (pie)
Vidrio	Liso	Liso
Plástico	3.0×10^{-7}	1.0×10^{-6}
Tubo extruido; cobre, latón y acero	1.5×10^{-6}	5.0×10^{-6}
Acero, comercial o soldado	4.6×10^{-5}	1.5×10^{-4}
Hierro galvanizado	1.5×10^{-4}	5.0×10^{-4}
Hierro dúctil, recubierto	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Hierro dúctil, no recubierto	2.4×10^{-4}	8.0×10^{-4}
Concreto, bien fabricado	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Acero remachado	1.8×10^{-3}	6.0×10^{-3}

Nota: Recuperado de Mott, R. L. (2006). MECANICA DE FLUIDOS (6a. ed., 1a. reimp.). Mexico: Pearson Educacion

Rugosidad relativa

$$\text{Rugosidad relativa} = \frac{D}{\epsilon} \quad (7)$$

D = Diámetro, m
 ϵ = Rugosidad del tubo

$$\text{Rugosidad relativa} = \frac{0.064m}{3 \times 10^{-7}} = 2.13 \times 10^5$$

Mediante estos resultados se ingresa al diagrama de Moody y se obtiene el factor de fricción, con este se sustituye y se calculan las perdidas mediante la ecuación de Darcy.

$$h_f = \frac{fLv^2}{2gD} \quad (8)$$

h_f = Perdida de energía por fricción, m
 f = Factor de fricción
 L = Longitud del trabajo de la tubería, m
 v = Velocidad del flujo, $\frac{m}{s}$
 g = Aceleración de la gravedad, $\frac{m}{s^2}$
 D = Diámetro interno de la tubería, m

Finalmente se ocupa la ecuación de la energía de Bernoulli para obtener la pérdida total en metros columna de fluido y así determinar la potencia de la bomba requerida, en este caso se seleccionó de 4 HP

$$\frac{P_1}{\gamma_{oil}} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma_{oil}} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2 \quad (9)$$

P1 y P2 = Puntos de presión de in sistema, Pa
 v1 y v2 = Velocidades en puntos correspondientes dentro de un sistema, $\frac{m}{s}$
 Z1 y Z2 = Alturas verticales relativas dentro de un sistema, m
 γ = Densidad, $\frac{kg}{m^3}$
 g = Constante gravitatoria, $9.81 \frac{m}{s^2}$

MÉTODO EPS

Este método permite definir cuáles son los elementos que intervienen en un proceso y especifica las operaciones que se deben realizar para obtener el resultado esperado. Primero se debe conocer cuáles son los datos de entrada y clasificarlos según su tipo: Constantes (valores que no van a ser modificados durante todo el proceso), o variables (datos que se pueden adecuar según las necesidades del proceso) y de qué manera interviene. Todo esto se realiza en la etapa de análisis, donde se gestionan y reconocen los lineamientos requeridos, como se muestra en la tabla 5, así como los procesos y operaciones que lleven a los resultados proyectados.

Tabla 5.- Gestión de los datos

Reproducción	Productividad por estanque 50 días									
	Animales m2	Estanque	Total	Individuo	kg	Individuo	kg	Individuo	kg	Individuo
Crias	30	540	2160	43.2		281.5714286		1314		15768
Engorda	16	1152	2304	43.08	3.2256	300.3428571	22.5792	1401.6	96.768	16819.2

Cria		
3m	Estanque	Total
xi	0.003-0.004	kg/individuo
	30	ind/m2
	50	dias
	18	m2
	540	ind/Estanque
Engorda	2.16	kg/Estanque
8.64	kg	

Engorda		
6m	Estanque	Total
x6	0.07	kg
	16	ind/m2
	150	dias
	72	m2
	1152	ind/Estanque
	80.64	kg/Estanque
6912	individuos	
483.84	kg	

Nota: Elaboración propia

En la etapa inicial se define la función global, que como se muestra en la Figura 2, hace referencia al funcionamiento básico del proceso productivo, identificando los elementos de entrada y puntualizando el resultado esperado; existen factores que intervienen de forma significativa, como las presencias que son elementos que permiten un funcionamiento óptimo, si alguna de estas se omite, el proceso se detiene; y los controles, que se establecen una vez que conocemos el sistema permitiendo realizar optimizaciones y mejoras.

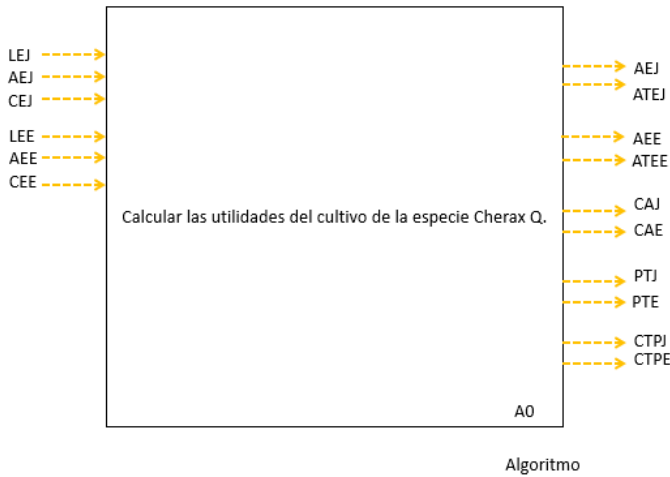


Figura 2.-Función global

Nota: Elaboración propia

Posteriormente, mediante la función descendente (Figura 3) se especifican las operaciones que serán ejecutadas en el programa para poder obtener los resultados del ejercicio propuesto, detallando cada elemento. Debe considerarse el cómo los datos que se obtendrán en cada operación permiten llegar al objetivo.

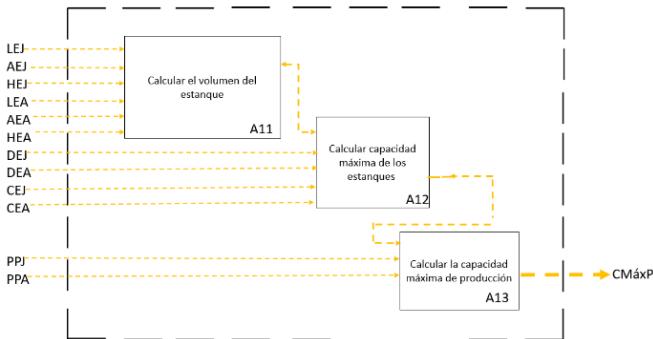


Figura 3.- Función Descendente

Nota: Elaboración propia.

Una vez finalizado este desarrollo, se realiza la orientación a objetos (Figura 4), que permite visualizar la construcción del algoritmo indicando los procesos y los elementos de entrada que intervienen en cada paso.

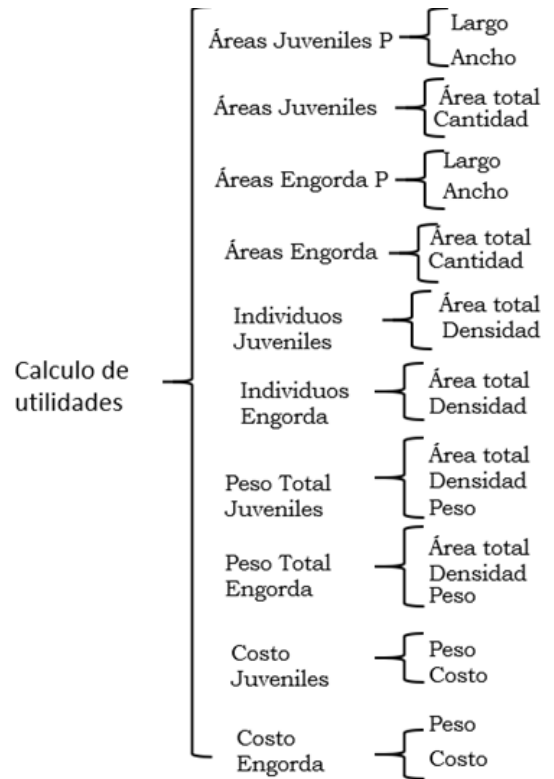


Figura 4.- Orientación a objetos

Nota: Elaboración propia.

SIMULACIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO.

Teniendo el análisis detallado EPS, se construye el algoritmo en el software Raptor, el cual nos permite conocer los resultados del método de producción. Este cuestiona al usuario las dimensiones y número de estanques, así como los precios por kilogramo de producto en cada etapa. El algoritmo, basado en la orientación a objetos, se va construyendo proceso por proceso. Así es como el algoritmo otorga la capacidad de los estanques, la producción en kilogramos y la utilidad bruta según la etapa de crianza.



main | AREA_JUVENILES_P | AREA_JUVENILES | AREA_ENGORDA_P | AREA_ENGORDA | INDIVIDUOS_JUVENILES

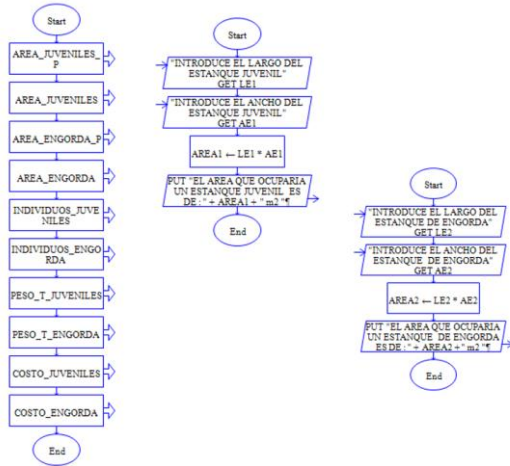


Figura 5.- Fases del Algoritmo en Raptor

Nota: Elaboración propia

De la misma forma el algoritmo permite obtener una simulación de cualquier especie acuática; aunque fue pensado específicamente para la especie aplicada en la presentación de este modelo, el Cherax quadricarinatus, como un método de simulación de producción aplicable en cualquier temporada o estación del año, puesto que lleva rigurosos procesos que permiten que la producción sea controlable.

RESULTADOS

Se identificaron los datos que intervienen en el proceso mediante una gestión acorde al requerimiento sugerido de media tonelada de producto, de tal forma se determinaron las medidas de los estanques, la cantidad de sujetos a producir, las densidades según sus etapas de crecimiento y los tiempos de estas etapas.

Se obtienen cantidades específicas de individuos producidos, peso en kilogramos por unidad productiva y por sistema total, así como ganancia bruta por capacidad instalada.

Los resultados preliminares obtenidos en el reporte de cada ejercicio permiten visualizar la capacidad de producción correspondiente a la elección de variables (Figura 6).

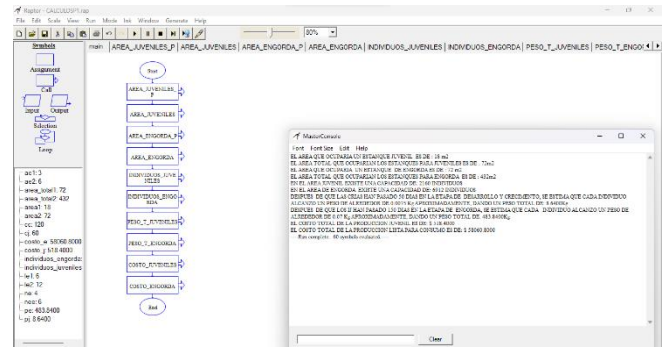


Figura 6.- Muestra del algoritmo y los resultados obtenidos

Nota: Elaboración propia

CONCLUSIONES

Los resultados en RAPTOR comprueban una simulación del sistema como una posibilidad funcional, se observa que el objetivo de producir media tonelada del espécimen es altamente probable, de forma real se pueden experimentar ajustes y modelarlos nuevamente para obtener resultados que permitan analizar el funcionamiento.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

Montejo, E. (2023, 2 agosto). Día de la Sobrecapacidad de la Tierra 2023: Hoy agotamos los recursos. National Geographic en Español. <https://www.ngenespanol.com/ecologia/dia-de-la-sobrecapacidad-de-la-tierra-2023-hoy-agotamos-los-recursos/>

Mott, R. L. (2006). MECANICA DE FLUIDOS (6a. ed., 1a. reimp.). Mexico: Pearson Educacion.

Johnson, R. F. (2023, 2 agosto). La ONU llama a actuar de manera sostenible en el Día de la Sobrecapacidad de la Tierra. Internacional | Noticias | El Universo. <https://www.eluniverso.com/noticias/internacional/la-onu-llama-a-actuar-de-manera-sostenible-en-el-dia-de-la-sobrecapacidad-de-la-tierra-nota/>

Millan, M. (2017, 21 julio). Producción de langosta en México - DM Plast. DM Plast. <https://dmplast.mx/produccion-de-langosta-en-mexico/>

De Ecología Y Cambio Climático, I. N. (2021). Estudios e investigaciones realizados por el INECC durante el peri. . . gob.mx. <https://www.gob.mx/inecc/articulos/estudios-e-investigaciones-281965>



Día de la Sobrecapacidad de la Tierra: Consumimos todos los recursos a producir este año. (s. f.). IBERO.
<https://ibero.mx/prensa/dia-de-la-sobrecapacidad-de-la-tierra-consumimos-todos-los-recursos-producir-este-año#:~:text=Este%202023%2C%20el%20D%C3%ADa%20de,la%20regeneraci%C3%B3n%20anual%20del%20planeta>

Dirección de Acuicultura | Secretaría del Campo. (s. f.).
<https://secampo.edomex.gob.mx/direccion-acuicultura#:~:text=Para%20impulsar%20el%20desarrollo%20de,de%20cr%C3%ADas%20de%20especies%20diferentes>

De Pesca, I. N. (2018). Acuicultura| Langosta de agua dulce. Gob.mx.
<https://www.gob.mx/inapesca/acciones-y-programas/acuicultura-camaron-azul>

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Naiobi Van Vértiz Figueroa es estudiante de Ingeniería en Mecatrónica en la Universidad Politécnica del Valle de México, Tultitlán, Estado de México

Viridiana Rivero Camacho es estudiante de Ingeniería Industrial en la Universidad Politécnica del Valle de México, Tultitlán, Estado de México

Gabriela Moreno Vigueras es estudiante de Ingeniería en Logística y transporte en la Universidad Politécnica del Valle de México, Tultitlán, Estado de México

Dr. Iván Alberto Vértiz Maldonado es Profesor investigador de tiempo completo en la Universidad Politécnica del Valle de México, Tultitlán, Estado de México y Catedrático en el Instituto Politécnico Nacional, Azcapotzalco, Ciudad de México.

M. en A Milton Uri Bautista Garrido es Profesor investigador de tiempo completo en la Universidad Politécnica del Valle de México, Tultitlán, Estado de México





Uso de simuladores como herramienta didáctica para análisis solución de problemas en asignaturas de redes de computadoras

José Juan Rico Castro, Leonel Gualberto López Salazar, Gonzalo Iván Hernández Vázquez, Omar García León

RESUMEN

En asignaturas de redes de computadoras es fundamental el conocimiento y aplicación de herramientas como simuladores, switches y routers a través de los cuales los alumnos desarrollen competencias y habilidades necesarias para su desarrollo profesional. Este documento tiene como objetivo analizar cómo utilizar estas herramientas de apoyo didáctico con el fin de generar una metodología y aplicarla en la solución de problemas de cálculo y análisis de redes y subredes y junto a la estrategia de Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) así, los alumnos desarrollaran la competencia de configurar sistemas de asignación automática de direcciones IP (DHCP) como parte de su formación para automatizar procesos en la administración de redes de computadoras.

La metodología consiste en realizar una introducción a través de ejercicios didácticos con ejemplos ilustrativos y proponer a los alumnos resolver problemas, de igual manera se utilizarán herramientas en línea -Calculadora VLSM y simulador Cisco Packet Tracer- que permitan a los alumnos comprobar que las operaciones de cálculo y análisis de requerimientos son correctas y con ello, llevar a cabo prácticas de configuración de un sistema de asignación automática de direcciones IP versión 4 y reforzar los conocimientos adquiridos con prácticas con equipos reales (routers y switches).

ABSTRACT

In computer networks subjects, knowledge and application of tools such as simulators, switches, and routers are essential. Through these tools, students develop the competencies and skills necessary for their professional development. This document aims to analyze how to use these didactic support tools in order to generate a methodology and apply it in solving calculation and analysis problems of networks and subnetworks, along with the Problem-Based Learning (PBL) strategy. In this way, students will develop the competence to configure Automatic IP Address Assignment

Systems (DHCP) as part of their training to automate processes in computer network administration.

The methodology consists of providing an introduction through didactic exercises with illustrative examples and proposing problem-solving tasks to the students. Likewise, online tools -such as the VLSM Calculator and Cisco Packet Tracer simulator- will be used to allow students to verify that the calculation and analysis operations are correct. With this, they will carry out configuration practices for an Automatic IP Address Assignment System, version 4, and reinforce the acquired knowledge through hands-on practice with real equipment (routers and switches).

Palabras claves: simuladores, redes, ABP, VLSM

INTRODUCCIÓN

La creciente adopción de dispositivos conectados y la proliferación de aplicaciones en línea han generado una necesidad urgente de optimizar el uso de direcciones IP en las redes de comunicación. VLSM se ha establecido como una herramienta esencial para lograr este objetivo, ya que permite asignar tamaños de subred variables según las necesidades específicas de cada red.

La idea principal de la segmentación en subredes es la siguiente: inicia con una red, pero es solo una gran red. Como una sola gran entidad, de inicio parece que no hay mayor problema que conectar equipos y realizar las configuraciones en cada equipo, al principio todo parece ir muy bien, el problema es que con el tiempo la red se ha vuelto demasiado grande y esto también ha traído problemas como la administración de equipos - ¿quién tiene qué dirección IP?, ¿en dónde está ubicado dicho usuario y/o equipo? -. Para realizar un mejor control y administración de dichos recursos, lo divides en trozos más pequeños, llamadas subredes, y asignas esas subredes para que se utilicen en diferentes partes de la red interna del campus. Esta breve introducción presenta la división en subredes IP. En primer lugar, se muestra la idea general detrás de un diseño de subredes.

Subredes de máscara de longitud variable.

El concepto de subredes de máscara de longitud variable o VLSM por sus siglas en inglés se plantea resolver problemas específicos para la administración de redes con gran cantidad de equipos

* UNAM, FES Cuautitlán, Cómputo e Informática,
josejuanricoc@gmail.com. Técnico Académico, Licenciatura





conectados en una infraestructura -como puede ser un campus universitario o una empresa privada- con gran cantidad de dispositivos interconectados entre sí. Para crear subredes de varios tamaños de en una red Clase A, B o C, se deberá realizar un diseño de algunas subredes para lo cual se empleará una máscara, otras con otra, y así sucesivamente. Diferentes máscaras significan diferentes números de bits de equipos y un número diferente de equipos en algunas subredes basados en la fórmula $2^n - 2$. Una máscara de subred es un conjunto de números agrupados en bloques de 1 y 0 en formato decimal, por ejemplo 255.255.0.0 que es el equivalente decimal a realizar las operaciones $2^8 + 2^7 + 2^6 + 2^5 + 2^4 + 2^3 + 2^2 + 2^1 + 2^0 = 255$ en este caso dos veces lo que implica que estamos utilizando 16 bits, la metodología VLSM plantea que podemos modificar la máscara de red para hacer las eficiente el uso de las direcciones IP generando subredes de diferentes tamaños y de esta manera aprovechando no solo la disponibilidad de direcciones, sino el ancho de banda disponible.

Metodología o desarrollo

De acuerdo con la metodología Aprendizaje Basado en Problemas, el método propuesto es el siguiente:

1. Planteamiento del problema.

Supón que eres el administrador de red de una institución educativa y se te pide realizar una reestructuración de los segmentos de red disponibles en la facultad con el fin de hacer más eficiente el uso y distribución de los equipos y direcciones IP disponibles para el campus, de acuerdo con tus conocimientos y habilidades decides implementar división de redes por segmentos más pequeños, para estar seguro realizas un esquema donde dividirás una subred por cada edificio que exista de acuerdo a la siguiente Figura, recuerda que para este esquema no se consideran redes inalámbricas.

Ahora analizaremos las necesidades y criterios para dividir en subredes para cualquier red empresarial nueva o cambiante:

1. ¿Qué hosts deben agruparse en una subred?
2. ¿Cuántas subredes requiere esta red?
3. ¿Cuántas direcciones IP de host requiere cada subred?
4. ¿Usaremos un solo tamaño de subred por simplicidad, o no?

Las Reglas sobre qué hosts están en qué subred se definen a continuación.

Cada dispositivo que se conecta a una red necesita tener una dirección IP. Estos dispositivos incluyen computadoras utilizadas por usuarios finales, servidores, computadoras portátiles, impresoras, y dispositivos de red como enrutadores, conmutadores y cortafuegos. En definitiva, cualquier dispositivo que utilice IP para enviar y recibir paquetes necesita una dirección IP.

En la siguiente figura se ejemplifica el modelo de resolución a desarrollar por parte de los alumnos.



Figura 1. Diagrama modelo de solución.

Se plantean las preguntas a responder por parte de los alumnos:

1. ¿Cuál será el orden de implementación de las subredes?
2. ¿Cuántas subredes se requieren?
3. ¿Todos los segmentos de red o subredes pueden ser del mismo tamaño? Justifique su respuesta.
4. ¿Por qué sí o por qué no sería adecuado utilizar una super red que incluya a todos los equipos?

Ahora se utilizan las herramientas matemáticas para realizar los cálculos de subredes, para ello se toma como base un segmento de red clase B; iniciar el proceso de la siguiente manera.

- 1.- Si es necesario se reorganizan las subredes necesarias de mayor a menor, en este caso no es necesario.



Tabla 1. Subredes y cantidad de host.

No.	Edificio	Cantidad
1	Cómputo	250
2	A3	180
3	Posgrado	160
4	A7	150
5	A2	140
6	A11	140
7	Gobierno	120
8	CADI	120
9	A8	90
10	A10	80
11	L3	60
12	L9	60
14	L8	60
14	L4	60
15	L5	50
16	L6	40

2.- Resolución de ejercicios

De acuerdo con la metodología propuesta por (Odo, 2020) sobre VLSM, se ha establecido que se usará una red de clase B 172.16.0.0 y máscara de subred 255.255.0.0 o en notación CIDR /16, por lo tanto, se tienen los siguientes datos.

La red mayor es: **172.16.0.0/16**
 Las direcciones disponibles en la red mayor para equipos son: **2¹⁶=65534**
 Número de direcciones IP necesarias para el esquema: **1760**

Como se puede observar los dos primeros octetos de la subred ya están definidos y estos permanecerán sin cambios.

Tabla 2. Definición de objetos.

172	16	0	0
Octeto 1	Octeto 2	Octeto 3	Octeto 4
Octetos de red		Octetos utilizados para equipos o host	

Los octetos que serán manipulados para realizar el procedimiento de VLSM serán el **3 y 4**.

Asignamos los valores para cada octeto de acuerdo con la formula 2ⁿ para calcular el número de host en cada octeto.

Tabla 3. Valor de cada octeto de acuerdo con su posición.

No. de octeto	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
No de host o equipos de acuerdo con la posición del octeto	32768	16384	8192	4096	2048	1024	512	256	128	64	32	16	8	4	2	1

3.- Cálculo de los segmentos de red a utilizar por cada edificio.

Para calcular la máscara de longitud variable analizaremos los requerimientos planteados y así obtenemos:

La subred de mayor tamaño requerida es de 250 equipos, por tanto, se calcula la máscara a utilizar. Mediante la formula 2ⁿ -2 donde n representa el número de bit a utilizar en la máscara 2⁸-2=256-2=254.

Tabla 4. Representación numérica de VLSM.

Notación decimal	255	255	255	0
notación binaria	11111111	11111111	11111111	00000000
	bits de red			bits de host

De los siguientes datos obtenidos en el punto 2: 172.16.0.0 y máscara de subred 255.255.0.0 o en notación CIDR /16, se observa en la Figura 4 que se requieren 8 bits adicionales para completar el número de equipos a utilizar en la subred, por lo tanto, la nueva máscara de subred será 16+8 =24 o en notación decimal 255.255.255.0 o /24 en notación CIDR.

También se puede observar de la Figura 2 que para las primeras cinco subredes la máscara será del mismo tamaño debido a que de acuerdo con la restricción de que una subred debe ser de tamaño igual o mayor, pero no menor al número de hosts requeridos. Así que se debe tener especial cuidado para calcular las subredes y aunque puede parecer repetitivo es importante que se note como se realiza el cambio de subred.

Calcular las direcciones utilizables de esta subred.

La primera será 172.16.0.1 y la última útil será la 2⁸-2=256-2=254

y tendremos el primer segmento definido como sigue.





Hay que recordar que la primera dirección IP representa a la red y la última dirección del segmento -en este caso 254+1 o 255- es la dirección de difusión o broadcast.

Tabla 5. Cálculo de la primera subred.

Nombre de subred	Direcciones necesarias	Tamaño máximo (2 ⁿ -2)	subred	CIDR	Máscara Decimal	Primera Dirección asignable es: 172.16.0.0+1	Última Dirección asignable es: 172.16.0.254	Broadcast
Cómputo	250	254	172.16.0.0	/24	255.255.255.0	172.16.0.1	172.16.0.254	172.16.0.255

Al ser de la misma dimensión las siguientes cinco subredes solo se modifica el valor del bit número 8 de tal modo que los valores se obtienen sumando uno a cada valor de la subred como se muestra en la siguiente Tabla.

Tabla 6. Agrupación y cálculo de subredes

Nombre de subred	Direcciones necesarias	Tamaño máximo (2 ⁿ -2)	subred	CIDR	Máscara Decimal	Primera Dirección asignable es:	Última Dirección asignable es:	Broadcast
A3	180	254	172.16.1.0	/24	255.255.255.0	172.16.1.1	172.16.1.254	172.16.1.255
Posgrado	160	254	172.16.2.0	/24	255.255.255.0	172.16.2.1	172.16.2.254	172.16.2.255
A7	150	254	172.16.3.0	/24	255.255.255.0	172.16.3.1	172.16.3.254	172.16.3.255
A3	140	254	172.16.4.0	/24	255.255.255.0	172.16.4.1	172.16.4.254	172.16.4.255
A11	140	254	172.16.5.0	/24	255.255.255.0	172.16.5.1	172.16.5.254	172.16.5.255

Para la red Gobierno y CADI el tamaño requerido es de 120 equipos por lo tanto se calcula la máscara a utilizar. $2^7-2=128-2=126>120$, utilizamos en siguiente segmento disponible. En este caso el bit que establece el límite de esta subred es el 7 y nuestra Figura queda de la siguiente manera.

Tabla 7. VLSM para 25 bits de subred y 7 bits para host.

Notación decimal	255	255	255	128
notación binaria	11111111	11111111	11111111	10000000
	bits de red			bits de host

Como se puede observar el número de bits de red y de hosts ha variado ahora el número de bits de red es de 25 y el número de hosts es 7 por lo que la subred queda como se muestra

Tabla 8. Cálculo VLSM para red CADI

Nombre de subred	Direcciones necesarias	Tamaño máximo (2 ⁿ -2)	Subred	CIDR	Máscara Decimal	Primera Dirección asignable es:	Última Dirección asignable es:	Broadcast
CADI	120	128	172.16.6.0	/25	255.255.255.128	172.16.6.1	172.16.6.126	172.16.6.127

La siguiente subred por utilizar se calcula sumando uno a la dirección de broadcast anterior y se continúa con el mismo procedimiento debido a que el número de direcciones requeridas es 120.

Tabla 9. Cálculo VLSM para red Gobierno

Nombre de subred	Direcciones necesarias	Tamaño máximo (2 ⁿ -2)	Subred	CIDR	Máscara Decimal	Primera Dirección asignable es:	Última Dirección asignable es:	Broadcast
Gobierno	120	128	172.16.6.128	/25	255.255.255.128	172.16.6.129	172.16.6.254	172.16.6.255

Como se puede ver aquí se optimiza el uso de las direcciones IP asignadas debido a que el “desperdicio de direcciones es mínimo” y queda de manifiesto la ventaja de utilizar VLSM. Ahora bien, para las redes A8 y A10 se utiliza el mismo tamaño de subred ya que se requieren 90 y 80 direcciones respectivamente por lo tanto se calcula la máscara a utilizar. $2^7-2=128-2=126>190$, utilizamos en siguiente segmento disponible. En este caso se suma un uno a la dirección de broadcast y nuestra Figura queda de la siguiente manera.

Tabla 10. Cálculo VLSM para red A8

Nombre de subred	Direcciones necesarias	Tamaño máximo (2 ⁿ -2)	Subred	CIDR	Máscara Decimal	Primera Dirección asignable es:	Última Dirección asignable es:	Broadcast
A8	90	128	172.16.7.0	/25	255.255.255.128	172.16.7.1	172.16.7.126	172.16.7.127

Tabla 11. Cálculo VLSM para red A10.

Nombre de subred	Direcciones necesarias	Tamaño máximo (2 ⁿ -2)	Subred	CIDR	Máscara Decimal	Primera Dirección asignable es:	Última Dirección asignable es:	Broadcast
A10	80	128	172.16.7.128	/25	255.255.255.128	172.16.7.129	172.16.7.254	172.16.7.255

Para los siguientes cinco segmentos se requieren 60, 50 y 40 direcciones IP respectivamente por lo que se calcula la máscara a utilizar. $2^6-2=64-2=62>60$, $62 > 50$, $62>40$ utilizamos en siguiente segmento disponible. En este caso el bit que establece el límite de esta subred es el 6 y nuestra Figura queda de la siguiente manera.



Tabla 12. Cálculo de subred y número de hosts.

Notación decimal	255	255	255	64
notación binaria	11111111	11111111	11111111	11000000
		bits de red		bits de host

Aquí utilizamos 6 bits para hosts y 26 bits para subred y nuestra Figura se muestra a continuación.

Tabla 13. Cálculo VLSM para las redes de igual tamaño máximo

Nombre de subred	Direcciones necesarias	Tamaño máximo (2 ⁿ -2)	Red	CIDR	Máscara Decimal	Primera Dirección asignable es:	Última Dirección asignable es:	Broadcast
L3	60	62	172.16.8.0	/26	255.255.255.64	172.16.8.1	172.16.8.62	172.16.8.63
L9	60	62	172.16.8.64	/26	255.255.255.64	172.16.8.64	172.16.8.126	172.16.8.127
L8	60	62	172.16.8.128	/26	255.255.255.64	172.16.8.128	172.16.8.190	172.16.8.191
L4	60	62	172.16.8.192	/26	255.255.255.64	172.16.8.192	172.16.8.254	172.16.8.255
L5	50	62	172.16.9.0	/26	255.255.255.64	172.16.9.1	172.16.9.62	172.16.9.63
L6	40	62	172.16.9.64	/26	255.255.255.64	172.16.9.64	172.16.9.126	172.16.8.127

3.- Realizando la maqueta y simulación con Cisco Packet Tracer.

La siguiente figura muestra cómo se puede llevar a cabo la simulación de dicha red y subredes. Por cuestiones de espacio solo se muestran los 3 segmentos de red de mayor tamaño.

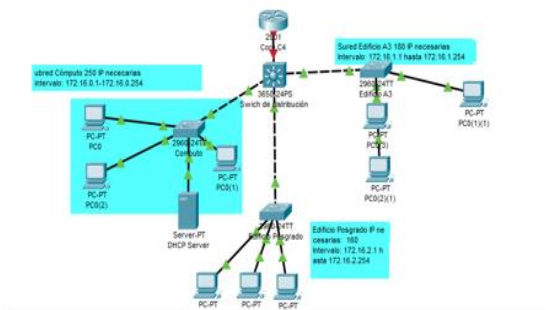


Figura 2. Simulación (Cisco, 2023).

4. Resultados y análisis

Mediante este ejercicio se observa como dividir una red muy grande en segmentos más pequeños provoca que se utilicen mejor los recursos, ya que como se sabe las direcciones IP versión 4 son escasas y realizar un diseño utilizando las submáscaras de red de tamaño variable ayudan no sólo a aprovechar mejor las IP disponibles, sino que también ayuda a utilizar el ancho de banda de una

manera más eficiente encapsulando el tráfico considerado como basura.

Mostramos ejemplos concretos de cómo VLSM permite reducir el desperdicio de direcciones y facilita la administración de subredes en infraestructuras de red heterogéneas.

Observamos también que mediante cálculos aritméticos precisos y ayuda de las matemáticas de manera sistemática se puede realizar una mejor gestión de los recursos de red disponibles, por lo que en caso de diagnóstico y reparación de fallas estas se puede realizar de manera más rápida al tener identificada la subred y el espacio físico al que pertenece.

Implementación práctica de VLSM: Discutimos las estrategias y técnicas actuales utilizadas para implementar VLSM en redes reales. Se describen los procedimientos y software más populares realizar una simulación a partir de los cálculos de máscaras de subred para diferentes topologías y requerimientos.

Desafíos y soluciones en la gestión de VLSM: Abordamos los desafíos actuales en la gestión de VLSM, como la escalabilidad en entornos de red de gran tamaño, la convergencia de rutas y la seguridad en la asignación de direcciones IP. Proporcionamos un método para generar soluciones, propuestas y prácticas recomendadas para superar estos obstáculos.

5. Conclusiones

A través del presente trabajo, se llevó a cabo una metodología que utilizó como herramienta los sistemas numéricos con base en uso de operaciones de conversión de decimal a binario y su aplicación en la resolución eficiente de cálculo de subredes mediante un ejemplo de aplicación a una situación real.

Se hace uso de herramientas de simulación basadas en web para confirmar que los resultados obtenidos a través de los cálculos numéricos realizados fueron adecuados y correctos y su aplicación a problemas específicos permite una visualización detallada de una solución analítica. Esta metodología de trabajo desarrolla las habilidades necesarias para que los alumnos puedan resolver problemas complejos combinando análisis numérico con herramientas de simulación.



Como se ha podido analizar VLSM se ha convertido en una herramienta indispensable para la optimización de redes de comunicación mediante una asignación eficiente de direcciones IP. Su adopción generalizada ha permitido reducir el consumo de direcciones y facilitar la administración de subredes en entornos complejos. A medida que las redes continúan expandiéndose, se espera que VLSM siga desempeñando un papel crucial en la mejora del direccionamiento y la eficiencia global de las infraestructuras de comunicación

Agradecimientos

Agradecemos ampliamente el apoyo recibido por parte de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico **DGAPA de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)**, a través del proyecto PAPIME PE108322.

5. Índice de referencias

- Wendell Odo (2020). *CCNA 200-301 Official Cert Guide, Volume 1*. Perspectives on IPv4 Subnetting (pp 268-274). Hoboken, NJ: Pearson Education, Inc.
- Cisco Packet Tracer (Nº de versión 8.1.1.0022). (2022). Windows 10. Cisco Systems. Sobre implementación de subredes de longitud variable. <https://id.cisco.com/>

INFORMACIÓN ACADÉMICA

José Juan Rico Castro: Ingeniero en computación administrativa egresado de la Universidad TEC Milenio.

Leonel Gualberto López Salazar: Licenciado en Matemáticas Aplicadas en Computación por la Escuela Nacional de Estudios Profesionales ENEP Acatlán, Maestro en Gestión de Tecnologías de la Información por la Universidad TEC Milenio y Doctor en Educación por la Universidad de Cuautitlán Izcalli.

Gonzalo Iván Hernández Vázquez: Ingeniero en Sistemas Computacionales egresado de la Universidad Tecnológica de México.

Omar García León: Licenciado en Administración Financiera por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Maestría en Empresas por la Universidad de Barcelona y Doctorado por la Universidad de Barcelona.





Uso de fluidos newtonianos en la erosión y dilatación de imágenes de iris y huellas dactilares

Fernando Gudiño Peñaloza*

RESUMEN

En este trabajo se presenta una técnica de mejoramiento de imágenes mediante técnicas morfológicas. En particular se utiliza fluido newtoniano mediante la técnica de percolación para lograr la erosión y dilatación de imágenes de huellas dactilares e iris. Los resultados demuestran una mejoría notable comparada con la técnica tradicional a base de strel. Su uso posterior en sistemas de clasificación parece ser viable, dado que reduce la dimensión de los datos, los simplifica al usar datos binarios y la calidad de imágenes ayudaran a los sistemas de clasificación.

ABSTRACT

This paper presents a technique for image enhancement using morphological techniques. In particular, Newtonian fluid is used through the percolation technique to achieve the erosion and dilation of fingerprint and iris images. The results show a notable improvement compared to the traditional strel-based technique. Its subsequent use in classification systems seems to be viable, since it reduces the dimension of the data, simplifies it by using binary data, and the quality of the images will help classification systems.

Palabras claves: Lógica Difusa, Control Inteligente, motor-generador, modelado.

INTRODUCCIÓN

Las huellas dactilares y los iris de los ojos se utilizan comúnmente como características biométricas para la validación de usuarios en sistemas de seguridad y autenticación. Estas características únicas de cada individuo se utilizan para verificar y confirmar la identidad de una persona (BHATTACHARYYA, 2009).

Tanto las huellas dactilares como los iris ofrecen una alta precisión y confiabilidad en la verificación de la identidad de una persona. Estas características biométricas se utilizan en una variedad de aplicaciones, como desbloqueo de teléfonos móviles, acceso a edificios seguros, sistemas de control de tiempo y asistencia, y sistemas de seguridad en general.

Durante la etapa de adquisición de las imágenes digitales de los identificadores biométricos suele pasar que existe ruido de distintas fuentes, entre ellas los mecanismos de los sensores ópticos, los mecanismos de los sensores eléctricos o electrónicos, mecanismos de apertura en cámaras fotográficas, y también debido a la transmisión de dichas imágenes a través de un canal físico, y a

una gran cantidad de impurezas a la hora de adquirir la imagen, producidas por una gama de factores entre las que se incluyen el ambiente, el estado del sistema de adquisición, el estado del canal de transmisión, los cuales generan distorsión y ruido (KANAGALAKSHMI & CHANDRA, 2011).

Para mejorar la calidad de las imágenes se hace uso de las técnicas de procesamiento digital de imágenes, en este artículo nos referimos en particular a la erosión y la dilatación de imágenes. Operaciones morfológicas utilizadas en el mejoramiento de imágenes (BHOWMIK, 2012). Para ello vamos a utilizar fluidos newtonianos en proceso de percolación (LIU & REGENAUER-LIEB).

LOS SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN BIOMÉTRICOS

Un sistema de clasificación de parámetros biométricos(iris, huella dactilar, voz, etc.)digitales se utiliza para categorizar y organizar las muestras de dichos biométricos en grupos o clases basadas en sus características comunes.

A continuación, se presentan los pasos generales en un sistema de clasificación de huellas digitales

1. Adquisición de muestras: Se recopilan por ejemplo, las huellas dactilares utilizando un escáner o dispositivo de captura especial. Las huellas dactilares se capturan en forma de imágenes digitales o datos biométricos.

2. Preprocesamiento: Las huellas dactilares capturadas pueden requerir preprocesamiento para eliminar el ruido, mejorar el contraste y la calidad de la imagen.

3. Extracción de características: En esta etapa, se extraen características únicas de las huellas dactilares para su posterior análisis y clasificación. Estas características pueden incluir patrones de crestas, bifurcaciones, deltas, entre otros.

4. Clasificación: Se selecciona y configura un algoritmo de clasificación apropiado. Algunos algoritmos comunes utilizados son: k-NN (k-Nearest Neighbors), SVM (Support Vector Machines) y redes neuronales (YAGER & AMIN, 2004). Dicho sistema se entrena utilizando un conjunto de datos etiquetados, donde cada huella dactilar está asociada con una clase o categoría conocida, para entrenar el modelo de clasificación. Durante el entrenamiento, el modelo aprende a reconocer y asignar correctamente las huellas dactilares a las clases correspondientes. Posteriormente se evalúa el rendimiento del modelo utilizando un conjunto de datos separado y no utilizado en el entrenamiento.

*FES-C, Departamento de Ingeniería,
fernando.gudino@comunidad.unam.mx





5. Clasificación de nuevas huellas dactilares: Una vez que el modelo ha sido entrenado y evaluado, se puede utilizar para clasificar nuevas huellas dactilares. Se aplican las etapas de preprocesamiento y extracción de características a las nuevas huellas dactilares, y luego se utilizan las características para realizar la clasificación utilizando el modelo entrenado.

OPERACIONES MORFOLÓGICAS

Las técnicas de procesamiento digital de imágenes se pueden clasificar de diversas formas, dependiendo de los criterios utilizados (JAYARAMAN, ESAKKIRAJAN, & VEERAKUMAR, 2009). Según la naturaleza de la operación podemos encontrar:

- Mejora de imagen: Técnicas que mejoran la calidad visual de la imagen, como el ajuste de contraste, la eliminación de ruido y el realce de bordes.
- Restauración de imagen: Técnicas utilizadas para recuperar una imagen original a partir de una imagen degradada, como la eliminación de manchas, la eliminación de artefactos y la corrección de desenfoque.
- Segmentación de imagen: Técnicas que dividen la imagen en regiones o segmentos significativos basados en características específicas.
- Reconocimiento de patrones: Técnicas utilizadas para extraer características y realizar tareas de reconocimiento y clasificación de objetos o patrones en la imagen.

Dentro de las operaciones de mejoramiento de imágenes existen dos técnicas ampliamente utilizadas: La erosión y la dilatación consideradas como operaciones morfológicas que manipulan y modifican la forma y estructura de los objetos en una imagen.

Erosión: Se utiliza para reducir el tamaño de los objetos en una imagen y eliminar detalles pequeños. De manera común la operación se realiza deslizando un elemento estructurante -strel- (una matriz de valores) sobre la imagen y comparando los píxeles de la imagen con los elementos del elemento estructurante. Si todos los píxeles coinciden, el píxel central se mantiene en la imagen de salida; de lo contrario, se elimina.

Esto tiene el efecto de "erosionar" los bordes y reducir el tamaño de los objetos en la imagen.

Dilatación: Esta técnica se utiliza para aumentar el tamaño de los objetos en una imagen y rellenar huecos o brechas en ellos. Al igual que con la erosión, se desliza un elemento estructurante, ver figura 1, sobre la imagen y se compara con los píxeles. Si al menos un píxel coincide, se agrega el píxel central al resultado. Esto tiene el efecto de "dilatarse" los objetos y expandirlos.

La dilatación es útil para cerrar huecos, unir objetos cercanos y engrosar los contornos de los objetos.

Podemos decir entonces que, la erosión reduce el tamaño de los objetos y la dilatación los aumenta. Estas operaciones se utilizan en combinación con otras operaciones morfológicas para realizar tareas más complejas, como la eliminación de ruido, la segmentación de objetos y la transformación de imágenes.

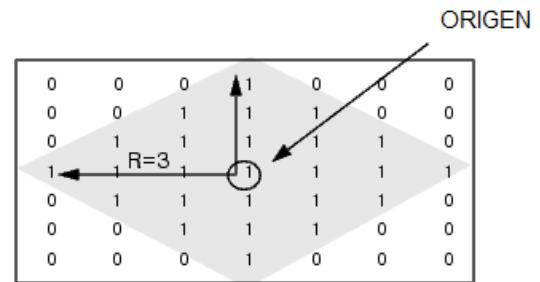


Figura 1 Strel tipo diamante de longitud $R=3$. El origen indica el píxel de una imagen sobre el cual se aplicará la operación morfológica correspondiente

MEJORAMIENTO DE IMÁGENES POR FLUIDOS. PERCOLACIÓN

La percolación se refiere al estudio de la propagación o flujo a través de medios porosos, redes interconectadas o estructuras aleatorias. Tiene aplicaciones en diversos campos y proporciona herramientas para comprender la conectividad y la propagación en sistemas complejos.

Se puede entender como el flujo de un líquido a través de un medio poroso. Su principal característica es que se puede definir la probabilidad de lo que se desea trasladar de un punto a otro, es decir que se toma la decisión de que tanta conectividad existe entre un espacio y otro para permitir el paso de un fluido. En el caso de procesamiento de imágenes el algoritmo de percolación, define que tan juntas pueden estar las partículas para poder generar un conjunto interconectado, clúster. Para poder realizar este modelo se requiere: un valor crítico de unión, una distribución de probabilidad del tamaño del clúster (YAMAGUCHI & HASHIMOTO, 2006) Para cumplir su objetivo el fluido en el proceso de percolación el fluido debe cumplir con la propiedad de ser newtoniano.

Un fluido newtoniano es un tipo de fluido que sigue la ley de viscosidad de Newton. Esta ley establece que la viscosidad del fluido es constante y no depende de la fuerza de corte o la velocidad de deformación a la que se somete el fluido. Un ejemplo común de un fluido newtoniano es el agua. Cuando se aplica una fuerza de corte a una capa de agua, la velocidad de deformación es directamente proporcional a la magnitud de la fuerza de corte aplicada. En un fluido newtoniano, la relación entre la tensión de corte (fuerza de corte por unidad de área) y la velocidad de deformación se describe mediante la ley de viscosidad de Newton, que establece que la tensión de corte es igual al producto de la viscosidad del fluido y la velocidad de deformación.

Es importante tener en cuenta que no todos los fluidos se comportan como fluidos newtonianos. Algunos fluidos, como las suspensiones coloidales, tienen propiedades viscosas que varían



con la fuerza de corte o la velocidad de deformación, lo que los hace más complejos en su comportamiento de flujo (NOURI, UMUR, & WHITELAW, 1993).

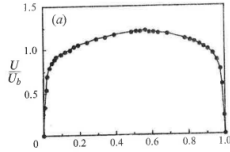


Figura 2.-Perfil de velocidad de un fluido newtoniano en un contenedor radial (Nouri, 2004)

Como podemos observar en la figura 2, los fluidos newtonianos presentan un máximo esfuerzo en la parte central del medio conductor y una resistencia constante a las orillas. Matemáticamente se expresa como:

$$\sigma_{ij} = -p\delta_{ij} + \mu \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3}\delta_{ij}\nabla \cdot \mathbf{v} \right) \quad (1)$$

Que relaciona el vector tensión, el gradiente de velocidad y la presión del fluido.

En términos del procesamiento de imágenes, esto genera que en el centro de la imagen se de el fenómeno de erosión y en las orillas el de la dilatación(agregación) lo que permite una mejor definición de los bordes de una imagen en particular.

MEJORAMIENTO DE IMÁGENES POR FLUIDOS NEWTONIANO

A continuación se describe el diseño de un sistema de mejoramiento de imágenes de huellas dactilares e iris con la ayuda de transformaciones morfológicas, tal como se ve en la figura 3

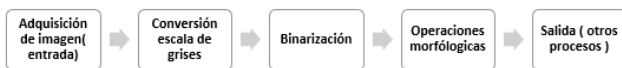


Figura 3.-Proceso de mejoramiento digital en imágenes con operadores morfológicos

Como es común en los algoritmos de procesamiento de imágenes, es mejor trabajar en imágenes binarias, dado que el sistema se enfoca en identificar elementos continuos(crestas ,valles), y por lo tanto el color y otras características no son relevantes.

Una vez que se han obtenido las muestras estas pueden ser preprocesadas o directamente ingresadas al punto de operación morfológica.

En dicho punto debemos de seguir los siguientes pasos.

1. Definir un área de interés de dimensión NXN, por ejemplo 5X5. 9X9 pixeles,
2. Colocar un elemento estructurante en el centro de la región seleccionada
3. Aleatoriamente visitar cada uno de los puntos cardinales vecinos del centro de la imagen.
4. Dependiendo del valor p(valor critico de agregación) determinar si se debe de unir(dilatar) al elemento central o por el contrario se debe de eliminar(erosionar) dicho pixel.
5. Recorrer y sobreponer la malla en forma vertical u horizontal, primero a la izquierda y después de arriba hacia abajo para cubrir la totalidad de la imagen.

Una de las desventajas de los algoritmos de vecindario como lo es este método, se refiere al hecho que en las orillas no se puede realizar una operación pues mas allá de la imagen no hay datos de calculo.

EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

Para validar el sistema se decidió usar la base de daos CASIA Fingerprint Image Database Version 5.0 (Institute of Automation of the Chinese Academy of Sciences (CASIA), 2009), compuesta por 2000 imágenes de 500 individuos utilizando el sensor de huella dactilar URU4000, en formato .tif y de 300X300 pixeles de resolución . de igual manera de la misma institución se obtuvo la base de datos de iris, la cual contiene 5 imágenes del iris derecho y 5 del izquierdo para 50 individuos, generando un total de 500 imágenes a color. Los resultado del procesamiento de imágenes se puede ver en las figuras 4,5 6 y 7.



Figura 4.- Obtención de imágenes de huellas digitales mediante el procedimiento de percolación de fluido newtonianos. En (a) imagen original, en (b) imagen binarizada (0,1), en (c) el resultado final de la operación.

A continuación podemos observar un comparativo entre las técnicas clásicas de erosión-dilatación y nuestra propuesta. Para dicho experimento se utilizo un strel tipo diamante de dimensión 5.

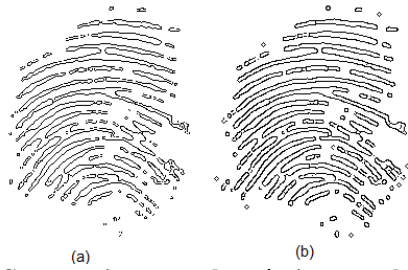


Figura 5.- Comparativo entre las técnicas en el proceso de mejoramiento de señales. En (a) la técnica de erosión-dilatación, en (b) mediante fluidos newtoniano para huellas dactilares.

Así mismo se incluyen las imágenes de iris, antes de poder ser procesadas, la imagen se sometió a un proceso de recorte para dejar solamente la parte central del iris

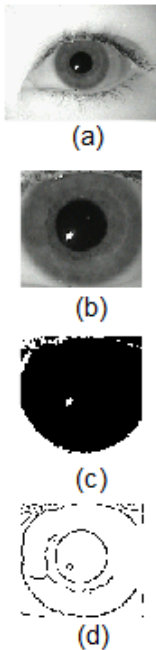


Figura 6.- Obtención de imágenes de iris ocular mediante el procedimiento de percolación de fluido newtonianos. En (a) imagen original, en (b) la imagen recortada, en (c) imagen binarizada (0,1), en (d) el resultado final de la operación.

Así mismo presentamos los comparativos con la técnica de dilatación erosión con la misma configuración de strel que el ejemplo anterior

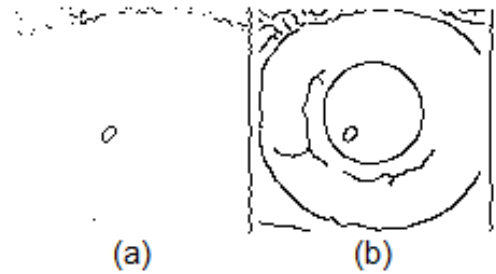


Figura 7.-Comparativo entre las técnicas en el proceso de mejoramiento de señales. En (a) la técnica de erosión-dilatación, en (b) mediante fluidos newtoniano para iris derecho.

De la observación de los ejemplos expuestos podemos ver que las técnicas de percolación nos dan imágenes mas detalladas comparadas con las técnicas de erosión y dilatación tradicional. Si bien no se comparó con todas las estructuras disponibles en la literatura(cuadro, círculo, línea, etc) podemos decir que es notable la diferencia.

Agradecimientos.

Este proyecto fue realizado gracias al apoyo de PIAPIME PE105123 Y PAPIIT IA102323

CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

La metodología propuesta ha mostrado ser una forma interesante de abordar el problema de detección de bordes, si bien existen filtros especializados en ello y las técnicas de erosión y dilatación nos acercan a resultados buenos, la técnica propuesta reduce el costo computacional al reducir la dimensión por el tipo de datos, usa binario, adicionalmente se demuestra que la técnica puede dar buenos resultados en situaciones en las que las otras técnicas no han sido efectivas, por ejemplo en el procesamiento de iris.

Como trabajo futuro queda utilizar las imágenes en sistemas de clasificación como lo es redes neuronales artificiales, o similares para ver si la calidad de las mismas sirve en estos sistemas de clasificación



REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- BHATTACHARYYA, D. e. (2009). Biometric authentication: A review. *International Journal of u-and e-Service, Science and Technology*, 2(3), 13-28.
- BHOWMIK, P. e. (2012). Fingerprint Image Enhancement And It's Feature Extraction For Recognition. *Int J Sci Technol Res*, 1(5), 117-121.
- Institute of Automation of the Chinese Academy of Sciences (CASIA). (2009). CASIA Fingerprint Image Database Version 5.0. Obtenido de http://english.ia.cas.cn/db/201611/t20161101_169922.html
- JAYARAMAN, S., ESAKKIRAJAN, S., & VEERAKUMAR, T. (2009). *Digital image processing*. New Delhi: TATA McGraw-Hill.
- KANAGALAKSHMI, K., & CHANDRA, E. (2011). Performance evaluation of filters in noise removal of fingerprint image. 3rd International Conference on Electronics Computer Technology (págs. 117-121). IEEE.
- LIU, J., & REGENAUER-LIEB, K. (s.f.). Application of percolation theory to microtomography of rocks. *Earth-Science Reviews*, 214, 103519.
- NOURI, J. M., UMUR, H., & WHITELAW, J. H. (1993). Flow of Newtonian and non-Newtonian fluids in concentric and eccentric annuli. *Journal of Fluid Mechanics*, 617-643.
- YAGER, N., & AMIN, A. (2004). Fingerprint classification: a review. *Pattern Analysis and Applications*, 77-93.
- YAMAGUCHI, T., & HASHIMOTO, S. (2006). Image processing based on percolation model. *IEICE transactions on information and systems*, 2044-2052.

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Fernando Gudiño Peñaloza: Ingeniero Mecánico Electricista egresado de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM, Maestro en Ciencias de la Computación egresado del Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey y Doctor en Ciencia Computacionales por dicho instituto. Su campo de especialización es Inteligencia artificial y Computo Evolutivo.





Secuencias finitas y palabras. Conceptos fundamentales

*Alberto A. Herrera Becerra, Francisco J. Rodríguez Ramírez **

RESUMEN

Se presenta una introducción al tema de Secuencias Finitas y Palabras; estas entidades matemáticas se caracterizan por tres propiedades peculiares: son entidades compuestas, formadas a partir de elementos primitivos; estos elementos pueden aparecer repetidas veces; y todas estas apariciones están ordenadas. Estas construcciones son fundamentales en las áreas de la Teoría de los Lenguajes Formales, donde son los bloques de construcción de las entidades llamadas lenguajes, y de la Ciencia de la Computación Teórica, donde son los elementos clave para construir modelos de computadoras como procesadores lingüísticos o sistemas dinámicos discretos. A pesar de su importancia, el tema de las secuencias finitas se presenta de una manera muy informal e intuitiva en muchos de los libros sobre la Teoría de los Lenguajes Formales y Automatas. Nosotros estamos convencidos de que este enfoque no permite que los estudiantes aprecien todas las propiedades y características de las secuencias finitas. Debido a esto, por varios años hemos desarrollado materiales educativos que ayuden y motiven al estudiante a profundizar en el estudio de estas fascinantes entidades matemáticas. Así pues, en este reporte damos a conocer nuestro enfoque al tema, presentando las definiciones fundamentales y resaltando la naturaleza combinatoria de las secuencias finitas y palabras.

ABSTRACT

This paper is an introduction to Finite Sequences and Words, mathematical entities with very peculiar properties: they are composed entities, that is, they are formed from primitive elements; these primitive elements could appear several times in the composed one; and the primitive elements appeared ordered within the composed one. These constructions are of a fundamental importance in the fields of Formal Language Theory, where they are the building blocks of the entities known as languages, and Theoretical Computer Science, where they are the key elements to build computer models as linguistic processors or discrete dynamical systems. Despite their importance, the theme of finite sequences is presented in a very informal or intuitive way in most of the textbooks on Formal Languages and Automata. In our view, this approach does not allow students to fully appreciate all the properties and features of these mathematical objects; certainly,

they are much more complex than the intuitive approach suggest. For several years, we have been developing learning aids to help and motivate students to immerse themselves in a very exciting theme of discrete math. So, in this paper we present our approach to the theme considering the fundamental definitions and the combinatoric nature of words.

Palabras claves: Matemáticas Discretas, Indexación, Secuencias Finitas, Combinatoria.

INTRODUCCIÓN

Es muy común encontrar en los libros de nivel introductorio sobre Lenguaje Formales afirmaciones similares a la siguiente. “Una secuencia finita de símbolos de un determinado alfabeto se conoce como una palabra sobre dicho alfabeto Kelley (1995)”. Es cierto que, desde un punto de vista informal, afirmaciones como la anterior son apropiadas, pero ciertamente carecen de rigor matemático. El defecto principal, no se aclara qué se debe entender por el concepto de secuencia finita como una entidad matemática. La situación no mejora si se recurre a definiciones de diccionario. Por ejemplo, en el Diccionario de la Lengua Española de la Real Academia Española se encuentran aseveraciones como las siguientes. “Serie o sucesión de cosas que guardan entre sí cierta relación” o “conjunto de cantidades u operaciones ordenadas de tal modo que cada una está determinada por las anteriores RAE (2001)”. De hecho, en este diccionario se señala que la segunda aseveración anterior se puede entender en un sentido matemático. De inmediato queda la duda si la aseveración anterior realmente es una definición de carácter matemático; por decir lo menos, parece una aseveración ambigua. El problema con todo esto, es que la idea intuitiva se usa como base para desarrollar toda una teoría sobre los llamados Lenguajes Formales. Es bien sabido en las Matemáticas que es muy peligroso basar toda una teoría en ideas intuitivas: más temprano que tarde se pueden encontrar inconsistencias en los razonamientos desarrollados y, tal vez peor, contradicciones.

Debido a lo anterior, durante varios años nos hemos dedicado a revisar las definiciones matemáticas del concepto de secuencia o sucesión en lo general, y las características particulares que tienen las secuencias finitas. Hemos encontrado diversos enfoques, pero todos basados en los conceptos fundamentales de las matemáticas discretas: Conjuntos, relaciones y funciones. Algunos de los enfoques son introductorios, algunos otros son más sofisticados, aunque se debe señalar que todos ellos parten de una definición precisa, no sólo de una idea intuitiva. Nosotros creemos que un enfoque apropiado para cursos introductorios a la teoría de los

* Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología, UNAM, Departamento de Instrumentación Científica e Industrial, alberto.herrera@icat.unam.mx, M. en I.B.B. Facultad de Ingeniería, UNAM, División de Ingeniería Eléctrica, frajorora@yahoo.co.uk, Ing.





lenguajes formales y sus aplicaciones a la teoría de las computadoras se debe basar en el concepto de función, tal y como se maneja en las matemáticas discretas. Con base en este enfoque, se pueden describir las características y propiedades esenciales de las sucesiones en lo general, las características particulares de las sucesiones finitas y, de manera muy especial, las principales operaciones que es conveniente definir para su manipulación.

En este documento presentamos una breve descripción del enfoque basado en funciones para describir las características y propiedades esenciales de las secuencias finitas, en el contexto de una realización particular: las entidades llamadas palabras en la teoría de los lenguajes formales. En especial, mostramos que una palabra (una secuencia finita) es una entidad combinatoria, esto es, existe, en lo general, una gran cantidad de realizaciones diferentes de una palabra particular que satisfacen las mismas características esenciales. Este aspecto de las palabras (secuencias finitas) es básico para entender la naturaleza de los métodos de procesamiento de palabras que se desarrollan en la teoría de los lenguajes formales y que, eventualmente, permiten establecer diferentes familias de lenguajes, cada una de ellas con sus propias propiedades distintivas.

1. INDEXACIÓN

Como ya se mencionó muy brevemente en la Introducción, la herramienta básica para construir las secuencias son las funciones, entendidas de manera abstracta. Desde este punto de vista, una función no es más que un conjunto de pares ordenados (esto es, una relación binaria) que satisface algunas condiciones adicionales. Así, una función (o mapeo) f de un conjunto A a un conjunto B , denotada $f: A \rightarrow B$, es cualquier relación binaria R de A a B tal que para toda $a \in A$ existe exactamente una $b \in B$ tal que $(a, b) \in R$. Con esto, las funciones mantienen su característica básica identificada en sus muchas aplicaciones: las funciones se pueden entender como una regla que permite asociar un objeto (en muchos casos, un valor) con otro objeto (otro valor). Adicionalmente, una función se puede usar para “ordenar” los elementos de un conjunto. Es esta noción de ordenamiento la que se va a usar en la definición del concepto de secuencia. Esta definición se introduce en dos etapas. Primero se introduce la idea de una indexación; luego se introduce la idea de secuencia como una indexación particular.

Sea I un conjunto. Una *indexación* del conjunto D por I es una función $s: I \rightarrow D$; la función s también se denomina *familia de elementos indexados* por I . Así, s es un mapeo de la forma $i \mapsto s(i) = d$, donde $i \in I$ y $d \in D$. Se dice entonces que el elemento d ha sido señalado o seleccionado por medio del elemento i ; debido a esto, el elemento i se denomina un *índice* para el elemento $s(i) = d$ y, en consecuencia, el conjunto I se denomina el *conjunto de índices*. Una indexación s es una regla para señalar o seleccionar elementos del conjunto D .

Un elemento $s(i)$ de una indexación s usualmente se denota s_i . Con esto, la familia de elementos indexados s es el conjunto $s = \{(i, s_i) : i \in I\}$. El conjunto anterior puede ser denotado de manera compacta $(s_i)_{i \in I}$, o simplemente (s_i) si el conjunto de

índices es conocido. A manera de ejemplo, sea el conjunto de índices $I = \{a, b, c, d, e, f\}$ y sea la familia de conjuntos $M = \{A, B, C, D, E, F, G, H\}$. Con los dos conjuntos I y M se puede construir la familia indexada s siguiente:

$$s = \{(a, C), (b, H), (c, B), (d, E), (e, D), (f, A)\}. \quad (1)$$

La familia anterior se representa de manera compacta como sigue:

$$s = (s_a, s_b, s_c, s_d, s_e, s_f) = (C, H, B, E, D, A). \quad (2)$$

Se debe destacar que el orden en el que se listan los elementos de s no es relevante. Debido a esto, se tiene lo siguiente:

$$s = (s_f, s_d, s_e, s_b, s_a, s_c) = (A, E, D, H, C, B). \quad (3)$$

El rango de s se denota $\{s_i : i \in I\}$; esto permite hablar de una familia indexada en términos de conjuntos, precisamente el conjunto de imágenes definidas por la función s . De esto se puede construir una imagen mental muy sugerente sobre las familias indexadas. Una familia puede ser vista como un conjunto de “contenedores” tales que cada “contenedor” está identificado con uno y sólo un índice, y cada “contenedor” contiene uno y sólo un objeto del conjunto blanco. Esta imagen va a ser usada más adelante en el documento.

Es muy importante destacar que un elemento $d \in D$ puede tener varios índices bajo s debido a que esta función no tiene porque ser inyectiva. Esto es, puede ocurrir que $s_i = s_j = d$ para $i, j \in I$ con $i \neq j$.

A continuación, se describe una clase muy especial de familias indexadas, la clase fundamental para el estudio de los lenguajes formales.

2. SECUENCIAS FINITAS

Un caso especial de indexación surge cuando el conjunto de índices es un conjunto de números naturales de la forma general $I_n = \{k \in \mathbf{N} : k < n\}$ para algún $n \in \mathbf{N}$ dado. Para estos conjuntos es más conveniente adoptar la notación $\{0, 1, \dots, n-1\}$, obviamente más sugerente. Nótese que cuando $n = 0$, la especificación anterior denota al conjunto vacío \emptyset .

Se define a una *secuencia finita* s como una indexación cuyo conjunto de índices es precisamente $I_n = \{0, \dots, n-1\}$ para algún número natural n dado y cuyo rango es un conjunto D . Esto es, se tiene que $s: \{0, \dots, n-1\} \rightarrow D$. El número natural n referido en la definición se denomina la *longitud* de s y, en consecuencia, se dice que s es una secuencia (finita) de longitud n ; la longitud de la secuencia se denota $|s|$, o *long*(s). Los valores de s son denominados las *componentes* de s . Una secuencia finita s , de longitud n , es denotada $s = (s_0, s_1, \dots, s_{n-1})$, con $s_i = s(i)$ para $0 \leq i \leq n-1$. Aquí es necesario establecer una regla de escritura: las componentes s_i se deben listar siguiendo el orden natural de sus índices.

Una secuencia finita también se puede definir eligiendo el conjunto de índices $I_n = \{m, m+1, m+2, \dots, m+n-1\}$, para $m, n \in \mathbf{N}$ dados, con $m < n$. Nótese que también se tienen n números naturales consecutivos como índices. Sin embargo, el uso de este



conjunto de índices añade complicaciones innecesarias para los fines que se buscan. También se puede introducir y formalizar la noción de una secuencia infinita usando como conjunto de índices a todo el conjunto \mathbf{N} . Sin embargo, este concepto no va a ser usado en el presente documento y, en consecuencia, no se discutirá más.

Se define ahora a la secuencia (finita) de longitud cero como la función de indexación cuyo dominio es el conjunto vacío y cuyo rango es D . Ya se sabe que existe exactamente una función como tal, a saber, la función vacía, por lo que sólo hay una secuencia de longitud cero. Esta secuencia será denominada la *secuencia nula* o la *secuencia vacía*, y será denotada ε . Así, $\varepsilon: \emptyset \rightarrow D$ y $|\varepsilon| = 0$. (Cabe señalar que otros autores utilizan notaciones alternativas, como e o como λ , para denotar a la secuencia vacía.)

Una propiedad fundamental de las secuencias finitas es la siguiente. Se dice que dos secuencias finitas s y t sobre el mismo conjunto D son *iguales*, lo cual se denota $s = t$, si y sólo si todas sus componentes coinciden. Esto es, se requiere que $(s_0, \dots, s_{n-1}) = (t_0, \dots, t_{m-1})$, pero esta igualdad sólo puede suceder si $n = m$, las secuencias tienen las mismas longitudes, y $s_i = t_i$ para $0 \leq i \leq n-1$, sus valores son iguales. Así pues, resulta que dos secuencias de longitudes diferentes no pueden ser iguales, y dos secuencias con la misma longitud todavía pueden ser diferentes si por lo menos una componente no coincide.

La notación (d, d') se usa para denotar a una secuencia de longitud dos. Sin embargo, en la teoría de conjuntos se suele usar la expresión (d, d') como el par ordenado $\{(d), \{d, d'\}\}$, el cual es un objeto matemático cuya característica distintiva es que $(d, d') = (d_1, d'_1)$ si y sólo si $d = d_1$ y $d' = d'_1$. En el contexto de las secuencias finitas, resulta que la última igualdad también es válida, por lo que la ambigüedad no es muy dañina si se le maneja con precaución.

Por su parte, una secuencia t de longitud uno, una secuencia unitaria, está completamente determinada por su valor (t_0) . Muchas veces, sin embargo, se encontrará que es conveniente considerar que un objeto d puede ser usado como la secuencia unitaria (d) , cuya componente es precisamente d . Este uso permite simplificar muchas descripciones que, de manera más formal, se vuelven un tanto engorrosas. Nuevamente, el uso señalado no es muy dañino si se hace con precaución.

Se introduce una clase especial de secuencias finitas en la sección siguiente.

3. PALABRAS

Se presenta una clase especial de secuencias finitas definidas sobre símbolos. Un *símbolo* es una marca, signo o palabra que indica, significa o se entiende que representa a una idea, objeto o relación. Los símbolos son un medio para la comunicación compleja que a menudo puede tener múltiples niveles de significación. Los símbolos son la base de toda la comprensión humana y sirven como vehículos de concepción para todo el conocimiento humano. Los símbolos facilitan la comprensión del mundo en el que vivimos, sirviendo en consecuencia como un cimiento sobre el que realizamos nuestros juicios. En este sentido, las personas no sólo usan los símbolos para hacer sentido del mundo a su alrededor,

sino también para identificar y cooperar en sociedad a través de una retórica constitutiva (creación de una identidad colectiva).

Para empezar, un *alfabeto* es un conjunto finito no vacío de símbolos. Algunos autores consideran que si un conjunto A es un alfabeto, entonces en A no se deben incluir símbolos que puedan formarse por yuxtaposición de otros símbolos de A . Esta restricción impide confusiones con el concepto de palabra, que se dará más adelante.

Puesto que un alfabeto es simplemente un conjunto finito no vacío, dados los alfabetos A_1 y A_2 , se tiene que $A_1 \cup A_2$ también es un alfabeto. Es más, si los conjuntos $A_1 \cap A_2$, $A_1 - A_2$ y $A_2 - A_1$ son no vacíos, entonces también son alfabetos.

Una *palabra* de longitud n sobre un alfabeto A es una secuencia finita de longitud n de símbolos de A . Una palabra w de longitud n se denota $w = (w_0, w_1, \dots, w_{n-1})$ donde $w_i \in A$ para $0 \leq i \leq n-1$. Se debe recordar que los valores w_i no necesariamente son todos diferentes entre sí. Debido a esto, la *longitud* de la palabra w , denotada por $|w|$ o $long(w)$, es simplemente el número total de símbolos que la forman, incluyendo todas las posibles repeticiones de símbolos.

Ahora bien, debido a que se está considerando que cualquier símbolo que forme parte de un alfabeto no resulta de la combinación de otros símbolos, es más conveniente denotar a la palabra $w = (w_0, w_1, \dots, w_{n-1})$ simplemente como $w = w_0 w_1 \dots w_{n-1}$; esto es, se escriben los símbolos que forman a la palabra uno detrás de otro, sin marcadores que los separen. Debido a esto, en lo que sigue a menudo se usa el término *cadena* como sinónimo de palabra.

Es conveniente señalar que las palabras de longitud unitaria se escriben ahora simplemente a_0 , en lugar de (a_0) . Nótese que esto se presta a una mayor confusión con el símbolo a_0 del alfabeto en cuestión. Deberá ser el contexto el que ayude a resolver la posible ambigüedad; lo mejor es señalar siempre de manera explícita la diferencia.

Para un alfabeto A dado se define una única palabra de longitud cero, o *palabra vacía* o *palabra nula*, que se denota ε . Se debe cuidar que ε no sea un símbolo de ningún alfabeto, ya que ε denota a una palabra. Dados dos alfabetos diferentes, digamos A_1 y A_2 , para cada uno de ellos se define una palabra vacía, pero estas palabras vacías no son iguales, ya que una está definida sobre A_1 , mientras que la otra está definida sobre A_2 .

Sea w una palabra sobre un alfabeto A y sea a un símbolo de A . Se define la *longitud* a de w , denotada $|w|_a$ o $long_a(w)$, como el número de veces que aparece a en w . Es claro que $|\varepsilon|_a = 0$ para todo $a \in A$ y que para toda palabra w de cualquier alfabeto A se satisface la igualdad:

$$|w| = \sum_{a \in A} |w|_a. \quad (4)$$

Como una consecuencia más de que las palabras sean casos particulares de las secuencias finitas, se tiene que dos palabras u, v sobre un alfabeto A común son *iguales*, lo cual se denota $u = v$, si ambas palabras tienen la misma longitud y los mismos valores.

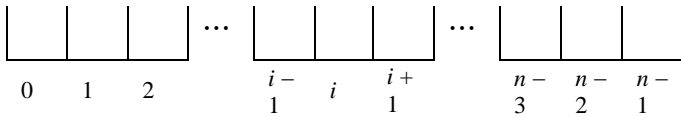


Nótese que esto significa que las palabras tienen los mismos símbolos para los mismos índices o, dicho de manera coloquial, tienen los mismos símbolos en las mismas posiciones. Dos palabras que no tienen la misma longitud no pueden ser iguales, y aunque dos palabras tengan la misma longitud puede que no sean iguales si por lo menos uno de sus valores no coincide.

Ahora bien, dado que cada componente w_i de una palabra $w = w_0 w_1 \dots w_{n-1}$ sobre un alfabeto A conlleva un significado individual intrínseco, se puede esperar entonces que la composición ordenada w conlleve un significado compuesto. Sin embargo, en la presentación que se va a realizar no se tomarán en cuenta ni los significados individuales de los símbolos disponibles, ni el posible significado compuesto de las palabras formadas con esos símbolos. Desde un punto de vista lingüístico, se va a realizar un estudio sintáctico de las palabras, esto es, sólo va a ser relevante el orden secuencial de los símbolos que forman a la palabra. En la sección que sigue se presentan las particularidades más relevantes de los estudios sintácticos de las palabras.

3.1 Las palabras como cadenas de contenedores

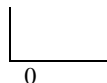
Para guiar el estudio sintáctico de las palabras se va a hacer uso de la idea de “contenedores” presentada en la sección de Indexación. Así, una palabra w de longitud n se puede visualizar como una colección finita y ordenada de n “contenedores”, cada uno de ellos etiquetado con un número natural. El ordenamiento de los “contenedores” se basa en el orden natural de los índices numéricos empleados.



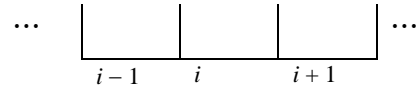
Así pues, las palabras se visualizan como cadenas de “contenedores” consecutivos, uno de detrás de otro. En cada “contenedor” de la cadena se debe colocar uno y sólo un símbolo de un alfabeto A previamente establecido. No pueden existir “contenedores” vacíos y no pueden existir “contenedores” con dos o más símbolos.

Con esta imagen, la palabra vacía se puede entender como una cadena vacía de “contenedores”. Dicho de otra manera, en la palabra vacía no hay “contenedor” alguno en el cual colocar símbolos.

Una característica distintiva fundamental de toda palabra no vacía de longitud n es que siempre deben existir un *primer* “contenedor” -el cual tiene la etiqueta 0 -, y un *último* “contenedor” -con la etiqueta $n - 1$. Un caso especial es la palabra de longitud unitaria, ya que su único “contenedor” es tanto el primero como el último.

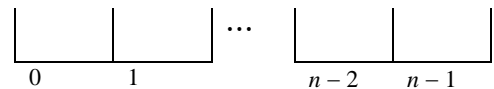


Otra característica distintiva es que todo “contenedor” debe poseer un “contenedor” antecesor inmediato y un “contenedor” sucesor inmediato, como se ilustra a continuación.



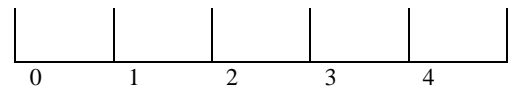
En este ejemplo, el “contenedor” con etiqueta $i - 1$ es el antecesor inmediato del “contenedor” i , mientras que el “contenedor” con etiqueta $i + 1$ es su sucesor inmediato.

Existen dos excepciones a lo anterior. La primera excepción corresponde al primer “contenedor”, el cual no tiene un antecesor inmediato. La segunda excepción corresponde al último “contenedor”, el cual no tiene un sucesor inmediato.



Esto es, el primer “contenedor”, con etiqueta 0 , tiene como sucesor inmediato al “contenedor” con etiqueta 1 (el segundo “contenedor”), pero no tiene un “contenedor” que sea un antecesor inmediato. Por su parte, el último “contenedor”, con etiqueta $n - 1$, tiene al “contenedor” con etiqueta $n - 2$ (el penúltimo) como su antecesor inmediato, pero no tiene un “contenedor” que sea su sucesor inmediato. Nuevamente, la palabra de longitud unitaria representa un caso especial, ya que es una palabra no vacía cuyo único “contenedor” no posee ni antecesor ni sucesor inmediatos.

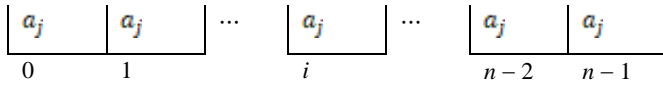
En toda palabra de longitud mayor o igual a 3 se pueden considerar “contenedores” antecesores o sucesores a un “contenedor” dado. Por ejemplo, considérese la palabra de longitud 5 ilustrada a continuación.



Si se toma como referencia al “contenedor” 1 , se observa que tiene al “contenedor” 0 como su antecesor inmediato y único antecesor; que tiene al “contenedor” 2 como su sucesor inmediato; y que tiene a los “contenedores” 2 , 3 y 4 como sus sucesores. Por su parte, el “contenedor” 2 tiene a los contenedores 0 y 1 como sus antecesores, siendo 1 su antecesor inmediato, y tiene a los contenedores 3 y 4 como sus sucesores, siendo 3 su sucesor inmediato.

3.2 Las palabras como cadenas de símbolos

Considérese un alfabeto A y considérese que a_j es un símbolo arbitrario de A . Si se considera ahora una cadena de n “contenedores”, se puede formar la palabra w de longitud n siguiente:



Se debe tener cuidado al interpretar la figura anterior. No se debe entender que en cada “contenedor” de la cadena se coloca un mismo símbolo, a_j en la figura. Lo que se quiere decir es que en cada “contenedor” se puede colocar un símbolo arbitrario a_j del alfabeto A . La elección es totalmente arbitraria, se puede escoger cualquier símbolo de A .

Con base en la imagen anterior, la palabra w se entiende que es una función de la forma $w: I \rightarrow A$, con $I = \{0, 1, \dots, n-1\}$, y que está dada por:

$$\begin{aligned} w(0) &= w_0 = a_{j_0} \\ w(1) &= w_1 = a_{j_1} \\ &\vdots \\ w(i) &= w_i = a_{j_i} \\ &\vdots \\ w(n-1) &= w_{n-1} = a_{j_{n-1}} \end{aligned} \quad (5)$$

Se debe entender que dos símbolos a_{j_k} y a_{j_l} , con $k \neq l$, pueden ser, o no ser, iguales. Dicho de otra manera, puede suceder que $w(k) = w(l)$, o puede suceder que $w(k) \neq w(l)$, para $k \neq l$.

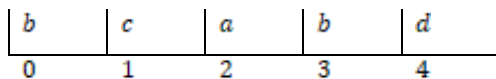
La representación funcional anterior también se puede entender como el conjunto de pares ordenados siguiente:

$$w = \{(0, a_{j_0}), (1, a_{j_1}), \dots, (i, a_{j_i}), \dots, (n-2, a_{j_{n-2}}), (n-1, a_{j_{n-1}})\} \quad (6)$$

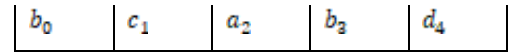
En este conjunto, los valores a_{j_i} se deben interpretar como el símbolo arbitrario a_j del alfabeto A con índice i , donde $0 \leq i \leq n-1$. En estas descripciones, se ha hecho uso de la noción de secuencia finita como un conjunto indizado por el conjunto de índices numéricos I .

En las aplicaciones, suele ser útil comenzar con la representación de conjunto de pares ordenados y luego construir la representación funcional.

A manera de ejemplo, considérese el alfabeto $A = \{a, b, c, d, e\}$. En este caso, los caracteres a, b, c, d y e no necesariamente se deben interpretar como letras de algún vocabulario; simplemente indican un alfabeto formado por cinco símbolos diferentes y distinguibles. Considérese ahora la cadena de símbolos de longitud 5 siguiente:



Esta figura se debe interpretar como sigue. En el “contenedor” 0 se colocó el símbolo b ; en el “contenedor” 1 se colocó el símbolo c ; en el “contenedor” 3 se colocó el símbolo a ; y así sucesivamente. La cadena anterior también se puede representar de manera más compacta como sigue:



Esta última figura también se puede interpretar de manera funcional. Así, la figura se puede interpretar como el conjunto de pares ordenados siguiente:

$$w = \{(0, b), (1, c), (2, a), (3, b), (4, d)\} \quad (7)$$

A partir de esta representación, ya es fácil establecer la representación funcional siguiente:

$$\begin{aligned} w(0) &= w_0 = b \\ w(1) &= w_1 = c \\ w(2) &= w_2 = a \\ w(3) &= w_3 = b \\ w(4) &= w_4 = d \end{aligned} \quad (8)$$

En particular, nótese que $w(0) = w(3) = b$. Esto es, el símbolo b tiene dos índices diferentes, 0 y 3. Dicho de otra manera, en la cadena w hay dos “contenedores” diferentes, 0 y 3 precisamente, que contienen copias del mismo símbolo, b en este caso.

De todo lo anterior, debería resultar claro que una palabra definida sobre un alfabeto A dado, es una entidad compuesta (de símbolos), cuyos componentes están ordenados (por una enumeración), y donde algunos componentes pueden aparecer repetidas veces. Se debería añadir que no es necesario usar todos los símbolos del alfabeto para formar palabras.

3.4 Notaciones alternativas

Considérese que la palabra w se representa inicialmente en la forma de conjunto de pares ordenados:

$$w = \{(0, a_{j_0}), (1, a_{j_1}), \dots, (i, a_{j_i}), \dots, (n-2, a_{j_{n-2}}), (n-1, a_{j_{n-1}})\} \quad (9)$$

Esta palabra w también se puede expresar de manera simplificada como sigue:

$$w = (a_{j_0} a_{j_1} \dots a_{j_{n-2}} a_{j_{n-1}}) \quad (10)$$

Si además se satisfacen las recomendaciones establecidas para los símbolos de un alfabeto, se puede emplear la notación simplificada:

$$w = a_{j_0} a_{j_1} \dots a_{j_{n-2}} a_{j_{n-1}} \quad (11)$$

Retomando el ejemplo de la sección anterior, la palabra particular w que se analizaba puede ser representada de manera muy compacta como sigue:

$$w = b_0 c_1 a_2 b_3 d_4 \quad (12)$$

Se pueden omitir los índices, llegando a la expresión siguiente:

$$w = bcabd \quad (13)$$

En esta última forma de representación, el orden en el que se escriben los símbolos es fundamental. El primer símbolo de la



palabra es el primero que se escribe; el segundo es el segundo que se escribe; y así sucesivamente hasta llegar al último símbolo.

3.5 Algunos conjuntos de palabras

Los conjuntos de palabras sobre un alfabeto dado se denominan *lenguajes*. El estudio de las características distintivas y propiedades de los lenguajes se presentará en un reporte futuro.

Dado un alfabeto A , el conjunto de todas las palabras sobre A se denota A^* , el cual se lee “ A estrella”. Más adelante se discuten la cardinalidad y ciertas propiedades de algunos subconjuntos interesantes de A^* . Estos subconjuntos son los siguientes.

El conjunto de palabras A^i , el cual se lee “ A a la i ”, donde i es un número natural tal que $i \geq 0$, es el conjunto de todas las palabras de longitud i sobre A . Esto es, se tiene que $A^i = \{w \in A^* : |w| = i\}$, donde $i \geq 0$ es un número dado.

4. CONSTRUCCIÓN DE PALABRAS

En la sección previa se presentaron los conjuntos de palabras A^i , señalando qué palabras los forman, pero no se dijo nada acerca de cómo construir tales palabras. Este problema de construcción es discutido en las secciones siguientes.

La construcción de palabras específicas se puede realizar de la manera siguiente.

- Primero, es indispensable fijar el alfabeto A de referencia. Los símbolos de este alfabeto serán los únicos que se podrán emplear en la construcción.
- Segundo, se deberán establecer las longitudes de las palabras que se desean construir. De esta manera se deja establecida la cantidad total de símbolos que se van a utilizar.
- Tercero, se deberán establecer posibles restricciones al uso de los símbolos. Por decir, se debe establecer cuáles símbolos del alfabeto realmente van a ser utilizados, y cuáles no van a ser considerados. Se debe establecer cuáles de los símbolos realmente utilizados van a aparecer múltiples veces y señalar la cantidad de repeticiones. Se debe indicar si aparecen algunas combinaciones de símbolos (o patrones) y se debe fijar la cantidad de veces que aparece el patrón. Finalmente, se deben señalar las posiciones en las que deben aparecer los símbolos o patrones distinguidos.

De lo anterior, debe resultar claro que el proceso de construcción de palabras particulares no es un proceso simple. Se debe tomar en cuenta que, en lo general, va a existir una cantidad muy grande de palabras diferentes que satisfacen las condiciones establecidas en el proceso de construcción. De entre todas estas palabras se deben seleccionar las palabras específicas que se desean.

Lo anterior señala claramente que todo problema de construcción de palabras involucra un *cálculo combinatorio*, y es bien conocido que los problemas combinatorios no son triviales y generalmente son muy engorrosos.

4.1 Primeros cálculos combinatorios

Todo conjunto A^i es finito, aunque posiblemente sea muy grande. Esta afirmación se establece a partir del razonamiento siguiente. Para un conjunto A^i dado, cada una de sus palabras tiene la forma general siguiente:

$x_{j_0} x_{j_1} \dots x_{j_{i-1}}$, donde cada x_j es alguno de los símbolos de A .

La forma anterior se puede representar como una cadena de i “contenedores”, cada uno de los cuales contiene uno, y sólo uno, de los símbolos del alfabeto, y no puede haber contenedores vacíos. Ahora bien, en la primera posición (o primer contenedor) de la palabra se puede colocar cualquiera de los símbolos del alfabeto; las elecciones posibles dependen de la cantidad de símbolos distinguibles, o de la cardinalidad del alfabeto A . Colocado el primer símbolo, en la segunda posición (o segundo contenedor) se puede colocar nuevamente a cualquiera de los símbolos del alfabeto. Y así sucesivamente. Debe resultar claro que la elección de un símbolo para una posición (o contenedor) de la palabra no depende de las elecciones realizadas previamente, y no influye sobre las elecciones que se van a realizar después. Todas las elecciones son independientes entre sí. En consecuencia, la cantidad de palabras que forman al conjunto A^i es $\#(A^i) = (\#A)^i$; este resultado se obtiene usando el llamado principio de la multiplicación. Ya que se ha establecido una cardinalidad para el conjunto A^i , se concluye que el conjunto es finito y su tamaño depende del tamaño del alfabeto A .

Con base en el resultado general anterior se tienen dos resultados particulares inmediatos. El primero corresponde al caso en que $i = 0$. Se tiene que $\#(A^0) = (\#A)^0 = 1$, ya que, según la definición anterior, $A^0 = \{\varepsilon\}$, donde ε es la palabra vacía sobre A (es la única palabra sobre A que tiene longitud cero). El siguiente caso corresponde a $i = 1$, donde $\#(A^1) = \#A$. En efecto, si el alfabeto A está formado por n símbolos distinguibles, esto es, $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, entonces el conjunto A^1 está formado por n palabras diferentes, esto es, $A^1 = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, todas las palabras unitarias sobre A . De manera rigurosa es importante no confundir A con A^1 , ya que el primero es un conjunto de símbolos, mientras que el segundo es un conjunto de palabras.

Con base en los resultados anteriores, los casos que requieren una investigación más detallada son los que corresponden a $i > 1$. Estos casos también dependen de la cantidad de símbolos distinguibles que se puedan emplear. En la siguiente sección se determina la cardinalidad de algunos conjuntos A^i particulares, considerando tres alfabetos con cardinalidades diferentes.

4.2 Más cálculos combinatorios

Alfabetos con un solo símbolo

La construcción de palabras con un alfabeto de un único símbolo distinguible resulta muy trivial. Por ejemplo, sea el alfabeto $A = \{0\}$ (se debe recordar que se ignora el significado de los símbolos considerados) y sean las palabras w de longitud n , donde



n es un número arbitrario. En lo particular, estas palabras tienen la forma general:

$$0_0 0_1 \cdots 0_{n-1}, \text{ donde } 0 \in A. \quad (14)$$

Esta es una cadena de n “contenedores” en la que en cada contenedor sólo se puede colocar al único símbolo disponible. Así, cada conjunto A^i , con $i \geq 0$, está formado por una sola palabra; esto es, se tiene que:

$$A^i = \{0_0 0_1 \cdots 0_{i-2} 0_{i-1}\}, \text{ con } i \geq 0. \quad (15)$$

El conjunto A^i está constituido por la única palabra formada por i ceros.

Así pues, los casos más interesantes de analizar se forman con alfabetos que tengan dos o más símbolos distinguibles. Algunos de estos casos se analizan a continuación.

Alfabetos con dos símbolos distinguibles

Se considera el caso de un alfabeto formado por dos símbolos distinguibles, por ejemplo $A = \{0, 1\}$. A continuación, se presenta un método para construir las palabras que forman parte de algunos conjuntos A^i sobre el alfabeto anterior.

1.a. El primer caso no trivial corresponde a A^2 , el conjunto de todas las palabras de longitud dos. En lo particular se tiene que $\#(A^2) = (\#A)^2 = 2^2 = 4$; esto es, se tienen cuatro palabras diferentes de longitud dos. Nótese que se ha establecido la cantidad de palabras diferentes que constituyen a A^2 , pero, por el momento, no se sabe qué palabras son. En este caso, sin embargo, es muy fácil especificar directamente tales palabras:

$$A^2 = \{00, 01, 10, 11\}. \quad (16)$$

Claramente, dos palabras se forman repitiendo dos veces uno de los símbolos disponibles, mientras que las otras dos palabras se forman con los dos símbolos disponibles, en los dos órdenes posibles. Esto se puede decir de otra manera, las palabras de longitud dos se forman considerando que uno de los símbolos disponibles se repite una vez (con lo cual, el otro símbolo también se debe repetir una vez), o que uno de los símbolos se repite dos veces (con lo que el otro símbolo se repite cero veces).

El resultado anterior es fácil de explicar. Todas las palabras de longitud dos tienen la forma general $x_{i_0} x_{i_1}$, donde $x_i = 0, 1$. Estas son las cadenas de dos “contenedores”. Falta considerar qué los símbolos se pueden encontrar en cada contenedor. Están disponibles dos símbolos distinguibles, por lo que se puede presentar el caso en que cada símbolo se encuentre en un contenedor diferente. Y hay dos formas de acomodar los símbolos, o primero se considera al cero y luego al uno, o viceversa. Queda la posibilidad de que ambos contenedores tengan al mismo símbolo; y nuevamente hay dos posibilidades, sólo se usa el cero, o sólo se usa el uno. Es claro que, en total, hay cuatro palabras diferentes, como ya se había establecido.

Con base en la descripción anterior, el conjunto A^2 se puede particionar como:

$$A^2 = \{01, 10\} \cup \{00, 11\}. \quad (17)$$

Cada una de las particiones anteriores se ajusta a una estructura particular para las palabras de longitud dos. Por una estructura para una palabra se debe entender una descripción compacta de los símbolos usados, las veces que esos símbolos se repiten y las posiciones que ocupan en una cierta palabra. Las estructuras para palabras van a ser especificadas en dos partes: (a) los símbolos usados y el número de veces que se repiten; y (b) las posiciones (o contenedores) en las que se colocan. Los símbolos usados y sus repeticiones se dice que constituyen el esqueleto de la estructura, mientras que las posiciones en las que se colocan constituyen la realización de la estructura.

En el caso que nos ocupa, los esqueletos de las estructuras se pueden representar usando la notación $(|w|_0, |w|_1)$, donde w es la palabra bajo análisis; esto es, primero se señalan las repeticiones del símbolo 0, y luego las repeticiones del símbolo 1. En lo anterior se debe garantizar que $|w|_0 + |w|_1 = |w|$; en el caso que se analiza se tiene que $|w| = 2$. Debe ser claro que la notación permite señalar tanto a los símbolos que se usan, como la cantidad de veces que se repiten.

Con base en lo anterior, la cantidad de esqueletos diferentes es igual a las soluciones de la ecuación:

$$|w|_0 + |w|_1 = |w|. \quad (18)$$

El primer esqueleto está caracterizado por las palabras en las que uno, y sólo uno, de los símbolos se repite dos veces (obviamente, el símbolo restante no se usa), mientras que el segundo esqueleto se caracteriza por las palabras en las que cada símbolo aparece una sola vez. Así, los esqueletos de las estructuras para las palabras de longitud dos son:

$$\begin{aligned} \text{a) } & (2, 0), (0, 2), \\ \text{b) } & (1, 1). \end{aligned} \quad (19)$$

Ahora bien, un mismo esqueleto se puede realizar de varias formas diferentes. Cada uno de los dos primeros esqueletos –apartado (a)– se puede realizar de una sola forma: las dos repeticiones ocupan los dos contenedores. El tercer esqueleto –apartado (b)– se puede construir de dos formas diferentes: uno de los símbolos se coloca en el primer contenedor, y el símbolo restante se coloca en el segundo contenedor. En total, se obtienen cuatro palabras diferentes, como ya se había establecido previamente.

1.b. El siguiente caso corresponde al conjunto de todas las palabras de longitud tres, esto es, A^3 . Ahora se tiene que $\#(A^3) = (\#A)^3 = 2^3 = 8$. Nuevamente, se conoce la cantidad total de palabras, pero se desconoce qué palabras son. Para resolver esto, se procede a determinar los posibles esqueletos de la estructura de las palabras de longitud tres. Según lo que se estableció en la Sección 1.a, la cantidad de esqueletos diferentes es igual a las soluciones de la ecuación:

$$|w|_0 + |w|_1 = |w| = 3. \quad (20)$$

Esto es, hay que determinar el número de formas en las que 3 se puede expresar como la suma de 2 números. No es difícil establecer que el problema anterior tiene las soluciones siguientes:



$$\begin{aligned} \text{a)} & (3,0), (0,3), \\ \text{b)} & (2,1), (1,2). \end{aligned} \quad (21)$$

Así pues, hay cuatro esqueletos diferentes para formar a las estructuras de las palabras de longitud tres. Nótese que para las palabras de longitud dos sólo hay tres esqueletos diferentes. Con esto se puede establecer un resultado parcial: para un mismo alfabeto, al aumentar la longitud de una palabra en una unidad (en este caso de dos a tres), también aumenta en una unidad la cantidad de esqueletos de las estructuras para las palabras (en este caso, de tres a cuatro).

Los esqueletos de la estructura general tienen las características siguientes. Uno de los símbolos se repite cero veces y, por consiguiente, el otro símbolo se repite tres veces; o uno de los símbolos se repite una sola vez y el otro se repite dos veces. Debe ser claro que las palabras de longitud tres tienen un símbolo que se repite más de una vez.

La última afirmación también se puede validar razonando como sigue. Dado que sólo hay dos símbolos distinguibles, únicamente dos de los tres contenedores que forman a la palabra pueden tener símbolos diferentes; el tercer contenedor necesariamente va a tener una repetición de algunos de los símbolos ya usados.

Los esqueletos recién establecidos se pueden realizar como sigue. Se debe recordar que se están considerando palabras de longitud tres o cadenas de tres “contenedores”; estas cadenas tienen la forma general $x_{i_0}x_{i_1}x_{i_2}$, donde $x_i = 0, 1$.

- Cada uno de los esqueletos en los que un símbolo que se repite tres veces –apartado (a)–, se puede realizar de una sola forma: en cada uno de los tres contenedores se encuentre el mismo símbolo. Así, se tienen dos palabras diferentes en las que uno de los símbolos se repite tres veces.
- Por su parte, cada uno de los esqueletos en los que un símbolo que se repite dos veces –apartado (b)–, se puede realizar de tres formas diferentes: se deben escoger los dos contenedores en los que se colocan las dos repeticiones; hay tres selecciones posibles. Así, se tienen seis palabras diferentes de longitud tres que tienen dos símbolos repetidos.

Esto explica las ocho palabras diferentes. Con los resultados anteriores, el conjunto A^3 se puede particionar de la manera siguiente:

$$A^3 = \{000\} \cup \{111\} \cup \{100, 010, 001\} \cup \{110, 101, 011\}. \quad (22)$$

Ahora es fácil observar que por lo menos uno de los símbolos disponibles se repite dos o más veces en cada una de las palabras.

Alfabeto con tres símbolos distinguibles

Se considera ahora el caso de un alfabeto formado por tres símbolos distinguibles, en particular $A = \{0, 1, 2\}$. Como en el ejemplo previo, se ilustra el procedimiento para construir las palabras de algunos conjuntos A^i sobre este alfabeto.

2.a. Se investiga primero el caso no trivial más simple, esto es, el conjunto A^2 , el conjunto de todas las palabras de longitud dos sobre A . La cardinalidad de este conjunto es $\#(A^2) = (\#A)^2 = 3^2 = 9$. Las palabras de A^2 tienen la estructura general $x_{i_0}x_{i_1}$, donde $x_i = 0, 1, 2$. Claramente, tanto el primer contenedor como el segundo deben tener uno de tres símbolos posibles, lo cual explica la cardinalidad de A^2 que se había calculado. La cantidad de esqueletos de esta estructura se encuentra resolviendo la ecuación:

$$|w|_0 + |w|_1 + |w|_2 = |w| = 2. \quad (23)$$

Esto es, 2 se debe expresar en términos de la suma de tres sumandos. Debe resultar claro que por lo menos uno de los sumandos debe ser nulo. También debe ser claro que ninguna de las palabras de A^2 puede estar formada por los tres símbolos disponibles.

Las soluciones de la ecuación anterior, y los esqueletos de la estructura general para las palabras de longitud dos, son:

$$\begin{aligned} \text{a)} & (2,0,0), (0,2,0), (0,0,2), \\ \text{b)} & (1,1,0), (1,0,1), (0,1,1). \end{aligned} \quad (24)$$

Nótese que se ha generalizado la notación introducida en el Ejemplo 1. Debe resultar claro que por lo menos uno de los símbolos disponibles no se usa.

En este punto de la presentación se puede señalar otro resultado parcial. Considerando palabras de una misma longitud, en este caso longitud dos, al aumentar en uno la cantidad de símbolos disponibles, también aumenta la cantidad de esqueletos de las estructuras para las palabras: en este caso se pasó de tres esqueletos para dos símbolos a seis esqueletos para tres símbolos; la cantidad se duplicó.

Por lo que respecta a la realización de los esqueletos anteriores se establece lo siguiente.

- Cada uno de los esqueletos del apartado (a) de la lista se puede realizar de una sola manera: en cada contenedor se coloca una de las repeticiones del único símbolo que se utiliza. Se obtienen tres palabras diferentes.
- Por su parte, cada uno de los esqueletos del apartado (b) se puede realizar de dos formas diferentes: en uno de los contenedores se coloca uno de los símbolos, en el contenedor restante se coloca otro símbolo; uno de los símbolos disponibles no se usa. Se obtienen seis palabras diferentes.

En total, se obtienen 9 palabras diferentes. El conjunto A^2 se puede especificar directamente como sigue:

$$A^2 = \{00\} \cup \{11\} \cup \{22\} \cup \{01, 10\} \cup \{02, 20\} \cup \{12, 21\}. \quad (25)$$

Debe resultar claro que las palabras se forman usando un solo símbolo dos veces, o usando dos símbolos diferentes, una vez cada uno.



2.b. Se analiza ahora el conjunto A^3 , esto es, el conjunto de todas las palabras de longitud tres. La cardinalidad de este conjunto es $\#(A^3) = (\#A)^3 = 3^3 = 27$. En este caso también es fácil explicar esta cardinalidad. Todas las palabras de longitud tres se ajustan a la estructura $x_i_0 x_i_1 x_i_2$, donde $x_i = 0, 1, 2$, y en cada uno de los contenedores se puede colocar uno, y sólo uno, de los tres símbolos disponibles. Por el principio de la multiplicación se obtienen nueve palabras diferentes.

La cantidad de esqueletos para la estructura de las palabras se obtiene resolviendo la ecuación $|w|_0 + |w|_1 + |w|_2 = |w| = 3$. No es difícil establecer que las soluciones de la ecuación dan origen a los esqueletos siguientes:

- a) $(3, 0, 0), (0, 3, 0), (0, 0, 3)$,
b) $(2, 1, 0), (2, 0, 1), (1, 2, 0), (1, 0, 2), (0, 2, 1), (0, 1, 2)$, (26)
c) $(1, 1, 1)$.

La obtención del último esqueleto permite establecer que en A^3 se encuentran palabras en las que se usan los tres símbolos disponibles, una sola vez cada uno de ellos. Una situación similar no se había observado en A^2 . Las restantes palabras de A^3 se caracterizan por un símbolo que se repite dos o tres veces.

En este punto se pueden mencionar otros resultados parciales. Primero, para un mismo alfabeto, en este caso de tres símbolos distinguibles, al aumentar la longitud de las palabras en una unidad, en este caso de dos a tres, la cantidad de esqueletos de las estructuras para las palabras también aumenta, pasando de seis a diez. El segundo resultado parcial se adiciona al resultado mencionado en la sección 2.a. Para palabras de una misma longitud, al aumentar la cantidad de símbolos disponibles en uno, la cantidad de esqueletos también aumenta, pero en este caso, las palabras de longitud tres, se pasa de 4 esqueletos con dos símbolos a 10 esqueletos con tres símbolos. En la sección 2.a se había observado que la cantidad se duplicaba, ahora ya no. Debería resultar claro que todavía no se puede hablar de una generalización, y que más casos deben ser investigados con más detalle.

Por lo que respecta a la realización de los esqueletos se encuentra lo siguiente.

- Los tres esqueletos del apartado (a) de la lista se pueden realizar de una sola forma cada uno de ellos. Se obtienen entonces 3 palabras diferentes.
- Por su parte, cada uno de los seis esqueletos del apartado (b) se puede construir de tres formas diferentes. Esto es fácil de explicar, se deben escoger dos contenedores de tres posibles para acomodar el símbolo que se repite dos veces; hay tres formas diferentes de elegir esos dos contenedores. Así, se obtienen 18 palabras diferentes.
- El último esqueleto –apartado (c)– se puede construir de seis formas diferentes, con lo cual se obtienen 6 palabras diferentes.

Tal vez sea conveniente explicar la razón de la última realización. En el primer contenedor se puede colocar uno de los tres símbolos diferentes, pero en el segundo ya sólo se puede colocar uno de los

dos símbolos restantes y, en consecuencia, en el tercer contenedor ya sólo se puede colocar el último símbolo disponible. En este caso, la elección hecha para el primer contenedor afecta a la elección que se puede hacer para el segundo contenedor, y las dos elecciones realizadas afectan la elección para el tercer contenedor. Claramente, las elecciones ya no son independientes entre sí. En total, se obtienen 27 palabras diferentes. A pesar de que el conjunto A^3 todavía se podría especificar directamente, ya no se presenta.

COMENTARIOS FINALES

Debe resultar claro que las secuencias finitas y las palabras son construcciones matemáticas no triviales, con propiedades nada simples. Un enfoque exclusivamente intuitivo al tema no permite resaltar tales características. En el documento hemos resaltado que, usando conceptos fundamentales de las matemáticas discretas como conjuntos, números naturales y funciones, se puede estructurar una presentación rigurosa, aunque sencilla, del tema. La rigurosidad empleada permite mostrar las principales propiedades de las secuencias finitas, propiedades que son fundamentales para comprender sus muy diversas aplicaciones y usos en las teorías de los Lenguajes Formales, Automatas y Computación Teórica. En especial, se destaca la naturaleza combinatoria de las secuencias finitas y palabras y, con ello, se establecen las bases para emprender investigaciones más detalladas sobre métodos de construcción, caracterización y selección de palabras particulares en contextos muy diversos. Estas aplicaciones y usos de las secuencias finitas (y de sus parientes cercanos, las secuencias infinitas) cada vez son más solicitadas en diversas áreas de las matemáticas aplicadas, por ejemplo, criptología y biomatemáticas.

Referencias Bibliográficas

- Cohen, D. I. A. (1986) **Introduction to Computer Theory**. New York, John Wiley & Sons, Inc.
- Epp, S. S. (2012) **Matemáticas Discretas con Aplicaciones**. Cuarta edición, México, Cengage Learning.
- Fejer, P. A. and Simovici, D. A. (1990) **Mathematical Foundations of Computer Science. Volume 1: Sets, Relations, and Induction**. Texts and Monographs in Computer Science, Volume X, New York, Springer-Verlag.
- Herrera Becerra, Alberto A. (2021). **Palabras y Operaciones para Palabras. Teoría y Ejemplos**. Notas de Curso, Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología, Universidad Nacional Autónoma de México, NC-INME-2021-572.
- Kelley, D. (1995) **Teoría de Automatas y Lenguajes Formales**. Madrid, Prentice Hall.
- Mateescu, A. and Salomaa, A. (1997) Formal Languages: an Introduction and a Synopsis. En: Rozenberg, G. and Salomaa, A., eds. **Handbook of Formal Languages, Volume 1: Word, Language, Grammar**. Berlin-Heidelberg, Springer-Verlag, p. 1-39.
- Real Academia Española (2001). **Diccionario de la Lengua Española**, vigésima segunda edición. Madrid, España, Editorial Espasa Calpe, S. A.



Tremblay, J. P. and Manohar R. (1987) **Discrete Mathematical Structures with Applications to Computer Science**. New York, McGraw-Hill Book Company.

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Alberto Arturo Herrera Becerra: Químico egresado de la Facultad de Química de la UNAM, Maestro en Investigación Biomédica Básica egresado de la UACPyP del CCH de la UNAM y candidato a Doctor en Química por parte de la UAM-Iztapalapa. Profesor de Asignatura en el Departamento de Computación de la División de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

Francisco José Rodríguez Ramírez: Ingeniero Mecánico Electricista de la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Diploma en Microprocessors Engineering and Digital Electronics, egresado del University of Manchester Institute of Science and Technology (UMIST), Manchester, Inglaterra. Profesor de Tiempo Completo en la Facultad de Ingeniería de la UNAM.





MD-02

Método de las raíces iguales

Juan Alfonso Oaxaca Luna¹

RESUMEN

El método de las raíces iguales es un procedimiento para construir tangentes de ciertas curvas planas, pero no es sino hasta después de la creación de la geometría analítica. Cuando a principios del siglo diecisiete en el que se crea un método unificado para la solución de tangentes. Lo que esencialmente la geometría analítica proporciona la fusión del álgebra con la geometría ordinaria. Hablar de la tangente es hablar de la inclinación de una recta o de la pendiente de la misma así como de la variación de cambio o simplemente de la derivada, en algún momento de nuestra formación como profesionistas lo hemos hecho, pero acaso nos hemos preguntado cuando nació este concepto y más aún cuáles son sus aplicaciones. En este artículo se hace resaltar el uso de la tangente en la vida cotidiana hasta su aplicación en la enseñanza de la geometría y el cálculo. Se hace el reconocimiento social de la contribución de Rene Descartes junto con Fermat los cuales a través de cálculos geométricos explican lo que posteriormente Leibniz y Newton llamarán el comportamiento geométrico de una función en un punto determinado fijando las bases de una cultura antigua en una diversidad de curvas (se conocían escasamente unas doce) y de la pesada herramienta retórica que en ese momento se disponía.

ABSTRACT

The method of equal roots is a procedure for constructing tangents to certain plane curves, but it is not until after the creation of analytic geometry. When at the beginning of the seventeenth century in which a unified method for the solution of tangents is created. What analytic geometry essentially provides is the fusion of algebra with ordinary geometry. Talking about the tangent is talking about the inclination of a straight line or its slope, as well as the variation of change or simply the derivative, at some point in our training as professionals we have done it, but perhaps we have wondered when this concept was born and even more so what are its applications. This article highlights the use of the tangent in everyday life until its application in the teaching of geometry and calculus. Social recognition of the contribution of Rene Descartes together with Fermat is made, which through geometric calculations explain what Leibniz and Newton will later call the geometric behavior of a function at a given point, setting the bases of an ancient culture in a diversity of curves (some twelve were barely known) and the heavy rhetorical tool that was available at that time.

¹ joaxaca@unam.mx

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán UNAM
Departamento de Matemáticas, Sección Sistemas Matemáticos Discretos

Palabras clave: raíces, variación, cálculos geométricos, geometría analítica, tangente.

INTRODUCCIÓN

En este artículo, uno de los propósitos es que el lector comprenda el concepto de tangente, planteando la cuestión de cómo se ha configurado el concepto de recta tangente históricamente y cómo su evolución ha determinado la manera en que se presenta actualmente a nuestros estudiantes para la enseñanza del cálculo diferencial. Esto ha permitido identificar tres concepciones (Euclídeana, cartesiana y leibniziana). Como una forma de explicar en contexto el concepto de tangente, se plantea la cuestión de cómo se ha configurado históricamente y cómo su evolución ha determinado la manera en que se presenta actualmente a nuestros estudiantes. En la época griega, las aportaciones de Euclides y Apolonio, por una parte, y de Arquímedes por otra, ya que estas son radicalmente diferentes y marcan las dos tendencias que los posteriores autores persiguen. Arquímedes piensa en la recta tangente como la dirección instantánea del movimiento que sigue una función. En cambio, Euclides y Apolonio la conciben como la recta de mínimo contacto (toca, pero no corta). Esta vertiente desembocaría en la concepción de Descartes, Fermat, Barrow y Leibniz, como límite de rectas secantes (Boyer, 2006).

Esta segunda corriente es la que aparece en los libros de texto y, por tanto, la que aprenden nuestros estudiantes. Hay un corte entre la concepción euclidiana, donde la recta tangente es la recta que toca, pero no corta a la cónica y la posterior concepción cartesiana, donde la recta tangente es considerada como el límite de las rectas secantes a una función en el punto considerado (introducida en Bachillerato). Son, por tanto, las dos concepciones dominantes que se pueden observar en los alumnos. Este salto histórico también se reproduce entre los estudiantes. Es importante destacar también una tercera concepción. Se trata de la forma que tiene Leibniz de concebir una curva como formada por infinitos segmentos. Al prolongar el segmento en el que se encuentra el punto de tangencia obtenemos la recta tangente (Duran, 2008).

METODOLOGÍA O DESARROLLO

Hablar de los cambios que ha sufrido la enseñanza de la tangente, es remontarnos desde preescolar hasta posgrado. En preescolar es el primer momento donde el niño empieza a recortar y observamos cómo sus recortes en una curva son secantes, pero al ir mejorando estos cortes se transforman en tangentes, esto nos hace reflexionar en la **transformación** o cambios que hay que considerar en la enseñanza del cálculo diferencial desde Descartes hasta nuestros días. La Geometría Analítica de “Descartes y Fermat” no fue la excepción a esto, es decir, no fue un producto exclusivo de sus investigaciones, sino más bien, la síntesis de varias tendencias matemáticas convergentes en los siglos XVI y XVII. Es hasta después de la invención de la geometría analítica, donde se hizo un progreso real para lograr un método unificado para resolver problemas de las tangentes. Este método se anticipa a las contribuciones del cálculo de Newton y Leibniz. Esencialmente lo que la geometría analítica proporcionó fue una manera de fusionar la geometría ordinaria, trigonometría y álgebra (Geometría Euclidiana), de manera que problemas de una disciplina pudiera





traducir los problemas correspondientes a la otra, considerando como punto de partida a los pares ordenados de números y de rectas o curvas con sus correspondientes ecuaciones algebraicas.

MÉTODO DE LAS RAÍCES IGUALES

Una de las construcciones básicas de la geometría elemental es trazar una circunferencia con centro en el origen cuya ecuación es: $x^2 + y^2 = 41$, donde su radio igual a 6.4, la cual contiene al punto (4,5), ya que la pareja de números satisface la ecuación. Encuentre la ecuación de la tangente en ese punto.

Sabemos que esta tangente debe ser perpendicular al segmento de recta que une el punto (4,5) con el origen. Con estos puntos podemos calcular la pendiente del segmento aplicando la ecuación:

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}; \text{ sustituyendo valores } m = \frac{0-5}{0-4}, \text{ simplificando}$$

obtenemos $m = \frac{5}{4}$, entonces la tangente tendrá una pendiente inversa y de signo contrario $m = -\frac{4}{5}$, como conocemos el punto de tangencia el cual es común a la recta y la circunferencia, podemos aplicar la ecuación $y - y_1 = m(x - x_1)$. Para obtener la ecuación de la recta tangente a la circunferencia en el punto (4,5). Sustituyendo valores $y = 5 + (-\frac{4}{5})(x - 4)$; Simplificando obtenemos la ecuación: $y = -\frac{4}{5}x + \frac{45}{5}$, en su forma general $5y + 4x - 45 = 0$ que es la tangente a la circunferencia como se muestra en la siguiente figura 1.

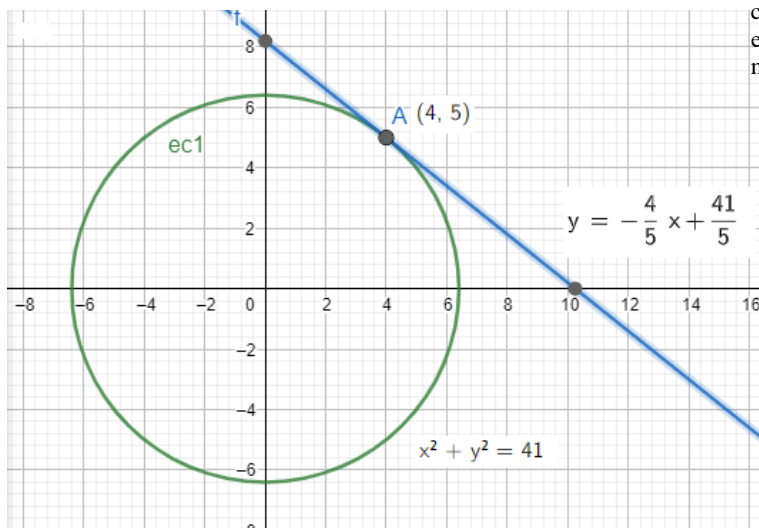


Figura 1. Recta tangente a la circunferencia en el punto (4,5)

Pensemos ahora en una parábola con foco en el punto $(0, \frac{1}{4})$ y

la directriz corresponde a la recta $y = -\frac{1}{4}$; recordemos que la

definición nos establece “Es el lugar geométrico que se describe en el que la distancia que existe de un punto fijo llamado foco a un punto móvil (x,y), es la misma distancia que hay del punto móvil (x,y), a la recta fija llamada directriz”. Bajo esta consideración establecemos: aplicando la ecuación de distancia entre dos puntos y la distancia de un punto a una recta.

$$\sqrt{(x - 0)^2 + (y - \frac{1}{4})^2} = y - (-\frac{1}{4})$$

Elevando al cuadrado ambos miembros de la igualdad.

$$x^2 + y^2 - \frac{1}{2}y + \frac{1}{16} = (y + \frac{1}{4})^2$$

$$x^2 + y^2 - \frac{1}{2}y + \frac{1}{16} = y^2 + \frac{1}{2}y + \frac{1}{16}$$

Simplificando obtenemos: $y = x^2$.

Expresión que corresponde a la ecuación de una parábola con vértice en el origen y que abre hacia arriba. Uno de los puntos de esa parábola es (2,4). Ahora nuestro problema es encontrar la ecuación de la tangente a la parábola en ese punto. Primero trazamos una perpendicular al punto de tangencia al eje focal de la parábola. Como este eje coincide con el eje “y”, es fácil observar la intersección con esta perpendicular el cual corresponde al punto (0,4), un punto que esta 4 unidades arriba del vértice. El correspondiente punto 4 unidades abajo del vértice es (0,-4) y este punto es en el que la tangente intercepta al eje “y”. Como se muestra en la figura 2.

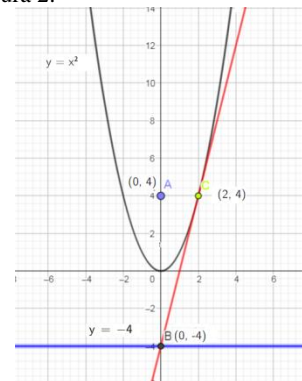


Figura 2. Recta tangente que toca a la parábola y corta la directriz

Conociendo que la recta tangente debe pasar a través de los puntos (2,4) y (0,-4), se puede obtener su pendiente. Aplicando la

ecuación de pendiente: $m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$, sustituyendo valores



$m = \frac{4 - (-4)}{2 - 0}$, entonces . Aplicando la ecuación de la recta punto pendiente. $y - y_1 = m(x - x_1)$; Sustituyendo valores $y - 4 = (4)(x - 2)$ Simplificando $y = 4x - 4$, que es la ecuación de la recta tangente a la parábola en el punto (2,4).

Luego de haber ilustrado el uso de la geometría para manejar algebraicamente construcciones geométricas, estamos listos para describir un método para encontrar las tangentes a diversos tipos de curvas. Este método fue desarrollado por René Descartes, a quien se atribuye la invención de la geometría analítica. En los ejemplos anteriores determinamos las tangentes en el caso de una circunferencia y al de una parábola. Sin embargo, empleamos un método diferente en cada caso.

Lo que Descartes se esforzó por crear fue un procedimiento uniforme por el que fuera posible determinar la ecuación de las tangentes sin importar cual fuera la curva en cuestión. El procedimiento de Descartes es conocido hoy como “**el método de las raíces iguales**”. A continuación, se describirá este método y ver hasta qué punto puede resolver el problema general de las tangentes.

Por simplicidad, primero describiremos el método de Descartes de las raíces iguales en una parábola. Si consideramos la misma parábola usada en el ejemplo anterior, con la finalidad de observar las bondades del método. Se tiene la ecuación de la parábola $y = x^2$ y el punto de tangencia (2,4). La ecuación debe tener la forma: $y - 4 = m(x - 2)$, donde la letra m representa la pendiente de la recta tangente. Generalmente debemos suponer que la recta esperada intercepta a la parábola en dos puntos distintos, como se muestra en la figura 3.

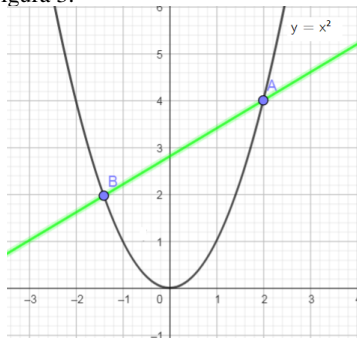


Figura 3. Intersección de la recta esperada con la parábola

Para determinar las coordenadas (x, y) de los puntos de intersección de la recta con la parábola, establecemos la ecuación, las cuales resolveremos en forma simultánea la ecuación de la parábola con la recta: $y = x^2$ con $y = 4 + m(x - 2)$

Igualando ambas ecuaciones $x^2 - 4 = m(x - 2)$
Igualando a cero $x^2 - mx + (2m - 4) = 0$

Esta es una ecuación de segundo grado que se puede resolver aplicando la fórmula general.

$$x = \frac{-(-m) \pm \sqrt{(-m)^2 - (4)(1)(2m - 4)}}{(2)(1)}$$

Simplificando

$$x = \frac{m \pm \sqrt{m^2 - 8m + 16}}{2}$$

Como queremos que las raíces sean iguales, entonces el valor de la discriminante debe ser cero, esto significa que la recta toca a la parábola en un solo punto.

De la discriminante $m^2 - 8m + 16 = 0$, aplicando la fórmula general:

$$m = \frac{-(-8) \pm \sqrt{8^2 - (4)(1)(16)}}{2}$$

$$m = \frac{8 \pm \sqrt{64 - 64}}{2}$$

Entonces

$$m = 4$$

Sustituyendo el valor de m en la ecuación de la recta:

$$y - 4 = m(x - 2)$$

$$y = 4 + 4(x - 2)$$

Simplificando

$$y = 4x - 4$$

Observamos que esta ecuación coincide con la obtenida geoméricamente. Esto deberá ser suficiente para convencernos de que el método de las raíces iguales es eficiente

La importancia del método de Descartes radica en que también funciona con otras curvas distintas a la parábola. Podemos aplicar este método para obtener la ecuación de la tangente de una circunferencia en un punto dado. Consideremos la ecuación: $x^2 + y^2 = 41$, y al punto (4,5). Aplicando el método de descartes obtenga la ecuación de la recta tangente en el punto indicado.

Consideremos como antes la ecuación de una recta arbitraria que contiene al punto (4,5) y la ecuación de la circunferencia.

$$y = 5 + m(x - 4)$$

$$x^2 + y^2 = 41$$

Sustituyendo el valor de y en la segunda ecuación

$$x^2 + (5 + m(x - 4))^2 = 41$$

Desarrollando

$$x^2 + 25 + 10mx - 40m + m^2x^2 - 8m^2x + 16m^2 - 41 = 0$$

Simplificando

$$(1 + m^2)x^2 + (10m - 8m^2)x + (16m^2 - 40m - 16) = 0$$

La ecuación anterior es de segundo grado, podemos aplicar la fórmula general para encontrar El punto donde se interceptan y a la vez se hace tangente.

x

$$= \frac{- (10m - 8m^2) \pm \sqrt{((10m - 8m^2))^2 - (4)(1 + m^2)(16m^2 - 40m - 16)}}{(2)(1 + m^2)}$$





Como queremos obtener que las raíces sean iguales entonces el valor del discriminante tendrá que ser cero.

$$((10m - 8m^2)^2 - (4)(1 + m^2)(16m^2 - 40m - 16) = 0$$

Simplificando

$$100m^2 + 160m + 64 = 0$$

Aplicando fórmula general.

$$m = \frac{-(-160) \pm \sqrt{(-160)^2 - (4)(100)(64)}}{(2)(100)}$$

Simplificando

$$m = \frac{-160 \pm \sqrt{25600 - 25600}}{200}$$

$$m = -\frac{16}{200} \text{ o bien } m = -\frac{4}{5}$$

Con este valor podemos obtener la ecuación de la tangente a la circunferencia en el punto $(-3,4)$.

De la ecuación establecida: $y = 5 + m(x - 4)$

Sustituyendo el valor de m .

$$y = 5 + \left(-\frac{4}{5}\right)(x - 4)$$

Simplificando

$$y = -\frac{4}{5}x + \frac{41}{5}$$

Si observamos es la misma ecuación obtenida en forma geométrica.

En si el método de Descartes sirve para unificar la teoría de las tangentes.

El método de Descartes de las raíces exactas logra dar un procedimiento uniforme para determinar tangentes a la circunferencia, parábola o cualquier otra curva que pueda ser representada por una ecuación de segundo grado, en este sentido el método de descartes sirve para unificar la teoría de las tangentes parcialmente ya que si se tiene otra curva que no sea de segundo grado el método no se puede aplicar.

Si tenemos una curva cuya ecuación es $y = x^3$, que contiene al punto $(1,1)$. Obtener la ecuación de la tangente en el punto indicado.

Una recta arbitraria que pasa por el punto $(1,1)$ posee una ecuación de la forma $y - 1 = m(x - 1)$.

Donde m representa el valor de la pendiente o inclinación de la recta. De acuerdo con el método de Descartes, tendremos que elegir el valor de m de tal forma que las dos ecuaciones siguientes se satisfagan.

$$y = x^3$$

$$y - 1 = m(x - 1)$$

Sin tener que resolver este sistema de ecuaciones, nos podemos imaginar que en la gráfica de la función cubica existen muchas rectas que pasan por el punto $(1,1)$ y que intersectan a la curva una sola vez, pero ninguna de estas rectas es la tangente que buscamos. Esto resulta obvio al ver la gráfica, en la que observamos que en la realidad la tangente toca dos veces la curva, como se muestra en la figura 4.

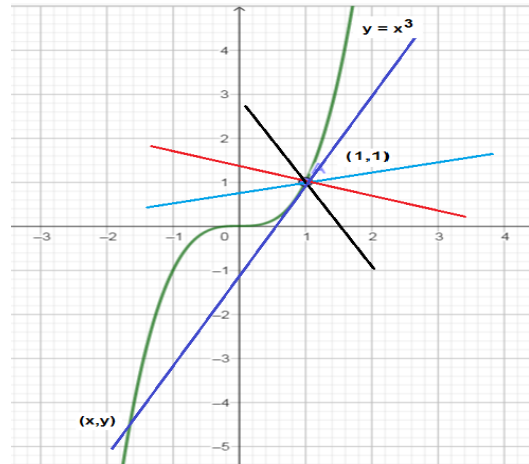


Fig. 4. Muestra algunas de las rectas que cortan a la curva, pero la tangente lo hace dos veces.

En esta situación es inútil tratar de descubrir la pendiente de la tangente usando el método de Descartes ya que cualquier valor que este método nos diera sería la pendiente de una recta que no es la tangente.

Así, el método de Descartes falla totalmente cuando se aplica a la curva representada por la función $y = x^3$. De hecho falla, por las mismas razones con todas las curvas descritas por la función cubica. Es obvio que cuando la tangente intersecta a la curva en más de un punto, no podremos determinar la pendiente de la tangente aplicando el método de las raíces iguales.

CONCLUSIONES:

En su tiempo, el método de Descartes de las raíces iguales represento un verdadero adelanto en la búsqueda de un método uniforme para encontrar tangentes a la curva; pero a pesar de su éxito parcial, se quedó corto en la consecuencia de la meta deseada.

Del estudio histórico nos interesa remarcar dos aspectos: Por un lado, el análisis epistemológico ha permitido identificar tres maneras diferentes de concebir el concepto de recta tangente a lo largo de la historia:

- Concepción euclídea: la recta tangente: como aquella que toca, pero no corta a una cónica.
- Concepción cartesiana: la recta tangente: como el límite de las rectas secantes.



- Concepción leibniziana: toda función está formada por segmentos infinitesimales; al prolongar el segmento en el que se encuentra el punto de tangencia obtenemos la recta tangente.

Observamos que por cualquier método los resultados son iguales, queda a elección del estudiante aplicar el método geométrico, método de Descartes o aplicar derivadas, según se le facilite. La contribución es que el estudiante conozca diferentes métodos de solución para un problema determinado y que vea que antes de que existiera el cálculo diferencial los procedimientos de cálculo eran geométricos desde la existencia de los griegos.

AGRADECIMIENTO

Agradezco al programa UNAM-DGAPA PAPIME 108022 por el apoyo brindado.

REFERENCIAS

- Boyer, C. (2006), *Historia de la matemática*, Madrid: Alianza,
Durán, A. (2008). *Historia, con personajes, de los conceptos del cálculo*. Madrid: Alianza.
Collette, J.I (2006). *Historia de las Matemáticas*. México. México: Editorial Siglo Veintiuno.
Edwards, C.H. (2009). *The Historical Development of the Calculus*. New York, Inc. USA: Springer-Verlag Newman.
James R. (2010). *El Mundo de las Matemáticas*. México: Enciclopedia Sigma, Tomo 4. Ediciones Grijalbo.
Radford, L. (2016). «Epistemology as a research category in mathematics teaching and learning», en B. HODGSON, A. Kuzniak, y J. LAGRANGE (eds.), *The Didactics of Mathematics: Approaches and Issues*, Springer, Suiza, 31-41.
Rey pastor, J., y J. BABINI (1997). *Historia de la Matemática*. Barcelona: Gedisa.

- Struik, D. (2011). *A concise History of Mathematico*. Inc. New York, USA: Dover publications.
Thuiller, P. (2005). *De Arquímedes a Einstein. Las Caras Ocultas de la Invención Científica*. México: Consejo Nacional para la cultura y las Artes / Editorial Alianza.

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Soy formación Ingeniero Químico Industrial, Maestro en Educación Matemática y Doctor en Educación, tengo dos diplomados uno en Administración para no Administradores y el segundo en Sistemas de Informática. Actualmente soy Profesor de Carrera Titular "A" TC Definitivo adscrito al Departamento de Matemáticas con 40 años de antigüedad y 47 años como docente. He impartido 53 cursos de actualización a profesores de la UNAM y otras Instituciones. 32 conferencias impartidas en diversas instituciones. 86 trabajos presentados en congresos nacionales e internacionales. 27 publicaciones entre notas y problemarios de matemáticas para las carreras de la FES-C. Publicación de 22 artículos arbitrados en memorias de congresos nacionales e internacionales y 2 artículos en revistas internacionales indizadas. Tutor de los programas PRONABES, BECALOS Y PROFEL. Responsable de programas de servicio social. Asesor de 47 tesis de licenciatura. *Coordinador Académico del Diplomado en Matemáticas Activas primera y segunda generación*. Asesor de los Talleres Generales de Actualización. Miembro del Comité Evaluador del Premio "Gustavo Baz Prada". Miembro de la Comisión Revisora del Plan de Estudios de la Licenciatura de Contaduría e Ingeniero Químico de la FES-C. Miembro del comité evaluador científico de 10 congresos de matemáticas e ingeniería nacionales e internacionales. Coordinador General de 1 congreso nacional y 7 congresos internacionales en la enseñanza y aplicación de las matemáticas. Responsable de 1 cátedra y cuatro proyectos PAPIME y un PIIAPI, Autor de 5 libros con ISBN.



Una investigación sobre diferentes enfoques de aprendizaje de maquina

Omar García León, Miguel de Nazareth Pineda Becerril, Leonel Gualberto Lopez Salazar, Celina Urrutia Vargas, Flores Pérez Judith Mayte *

RESUMEN

Recientemente el aprendizaje profundo ha obtenido un gran éxito en una variedad de dominios de aplicaciones. Este nuevo campo del aprendizaje automatizado ha crecido rápidamente y ha sido aplicado a la mayoría de los dominios de aplicaciones tradicionales, así como a algunas áreas nuevas que presentan más oportunidades. Se han propuesto diferentes métodos basados en diferentes categorías de aprendizaje, incluido el aprendizaje supervisado, semi-supervisado y no supervisado. Los resultados muestran un rendimiento de vanguardia utilizando el aprendizaje profundo en comparación con los enfoques tradicionales de aprendizaje automático en los campos del procesamiento de imágenes, visión por computadora, reconocimiento de voz, traducción automática, arte, imágenes médicas, procesamiento de información médica, robótica y control, bioinformática, procesamiento del lenguaje natural, ciberseguridad, etc.

ABSTRACT

Deep learning has recently gained great success in a variety of application domains. This new field of machine learning has grown rapidly and has been applied to most of the traditional application domains, as well as some new areas that present more opportunities. Different methods have been proposed based on different categories of learning, including supervised, semi-supervised, and unsupervised learning. The results show cutting-edge performance using deep learning compared to traditional machine learning approaches in the fields of image processing, computer vision, speech recognition, machine translation, art, medical imaging, medical information processing, robotics, and control, bioinformatics, natural language processing, cybersecurity, etc.

Palabras claves: Redes Neuronales Artificiales, Modelos No Paramétricos, Redes Neuronales, Reconocimiento de patrones.

*UNAM, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Departamento de Matemáticas, ogarciale@comunidad.unam.mx, Dr. Omar García León, Mtro. Miguel de Nazareth Pineda Becerril, Dr. López Salazar Leonel Gualberto, Dra. Celina Elena Urrutia Vargas, Mtra. Judith Mayte Flores Pérez.

INTRODUCCIÓN

Las redes neuronales artificiales (RNA) son sistemas de procesamiento computacional que están muy inspirados en la forma en que funcionan los sistemas nerviosos biológicos (como el cerebro humano). Las RNA se componen principalmente de una gran cantidad de nodos computacionales interconectados (denominados neuronas), cuyo trabajo se entrelaza de manera distribuida para aprender colectivamente de la entrada a fin de optimizar su salida final.

Las redes neuronales artificiales se aplican en varias situaciones. En particular el planteamiento del problema es descubrir que relación funcional existe entre covariables para lo que se aplica un proceso de entrenamiento iterativo. Su entrenamiento se resume en ensayar iterativamente con perceptrones multicapa en el contexto de análisis de regresión, es decir, para aproximar las relaciones funcionales entre covariables y variables de respuesta se propone buscar la relación entre variables. Por tanto, las redes neuronales se utilizan como extensiones de modelos lineales generalizados. El algoritmo de retropropagación proporciona una opción personalizada de activación y función de error Fig. (1). Teóricamente se puede incluir un número arbitrario de covariables y variables de respuesta, así como de capas ocultas. El documento ofrece una breve introducción a los perceptrones multicapa y la retropropagación resiliente. Los resultados muestran que las redes neuronales se ajustan a los datos durante el proceso de entrenamiento, puede manejar un número arbitrario de variables de entrada y variables de respuesta, no es necesario preespecificar el tipo de relación entre las covariables.

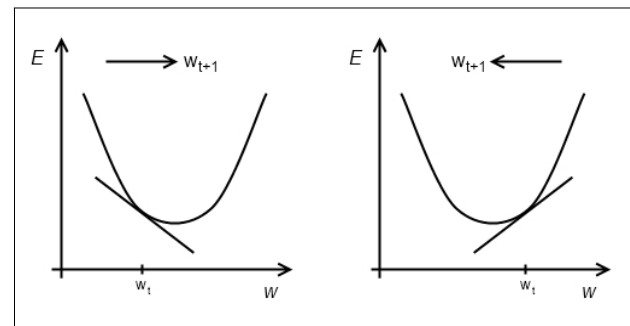


Figura 1.- La idea básica del algoritmo de retropropagación ilustrada para una función de error univariante (Elaboración Propia).



Los dos paradigmas de aprendizaje clave en las tareas de procesamiento de aprendizaje son: el aprendizaje supervisado y no supervisado. El aprendizaje supervisado es el aprendizaje a través de entradas preetiquetadas, que actúan como objetivos. Para cada ejemplo de entrenamiento habrá un conjunto de valores de entrada (vectores) y uno o más valores de salida designados asociados. El objetivo de esta forma de entrenamiento es reducir el error de clasificación general de los modelos, mediante el cálculo correcto del valor de salida del entrenamiento ejemplo.

Una desventaja de la retropropagación es que puede tomar una gran cantidad de iteraciones para converger a la solución deseada. Una alternativa a la retropropagación que se ha utilizado en la clasificación es la red neuronal probabilística (PNN) (Specht (1988), (1990), (1991)), que implica el aprendizaje de un solo paso y se puede implementar directamente en la arquitectura de la red neuronal.

El aprendizaje no supervisado difiere en que el conjunto de entrenamiento no incluye ninguna etiqueta. El éxito suele estar determinado por si la red puede reducir o aumentar una función de costo asociada. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la mayoría de las tareas de reconocimiento de patrones generalmente dependen de la clasificación mediante el aprendizaje supervisado.

Existen dos componentes básicos en una red neuronal que son las dos capas básicas de una red: La capa de inputs (primera capa) que consiste de todas las covariantes en neuronas separadas y la capa de outputs (última capa) que consiste de la variable o las variables respuesta (y). Mediante un algoritmo iterativo entre estas dos capas se ajustan los pesos (wi) que conectan cada capa, de manera que el error entre la variables respuesta (y) y la predicción o(x) sea mínimo. Todo este procedimiento de entrenamiento se puede realizar en línea Baluja (1995).

Las redes neuronales convolucionales (RNC) son análogas a las RNA tradicionales en el sentido de que están compuestas por neuronas que se autooptimizan a través del aprendizaje. Cada neurona aún recibirá una entrada y realizará una operación (como un producto escalar seguido de una función no lineal), la base de innumerables RNA. Desde los vectores de imagen sin procesar de entrada hasta la salida final de la puntuación de la clase, toda la red seguirá expresando una única función de puntuación perceptiva (el peso). La última capa contendrá funciones de pérdida asociadas con las clases, y aún se aplican todos los consejos y trucos habituales desarrollados para las RNA tradicionales.

2. DESARROLLO

Tipos de enfoques de DL:

Al igual que el aprendizaje automático, los enfoques de aprendizaje profundo se pueden clasificar de la siguiente manera:

Supervisado, Semi-supervisado o Parcialmente supervisado y No supervisado. Además, existe otra categoría de aprendizaje llamada Aprendizaje por refuerzo (Reinforcement Learning RL) o RL profundo (Deep Reinforcement Learning DRL) que a menudo se discuten bajo el alcance de semi supervisado o, a veces, enfoques de aprendizaje sin supervisión .

Las RNC se componen de tres tipos de capas. Estas son capas convolucionales, capas de agrupación y capas totalmente conectadas. Cuando estas capas se apilan, se ha formado una arquitectura RNC. En la Fig. 2 (O'Shea 2015) se ilustra una arquitectura CNN simplificada.

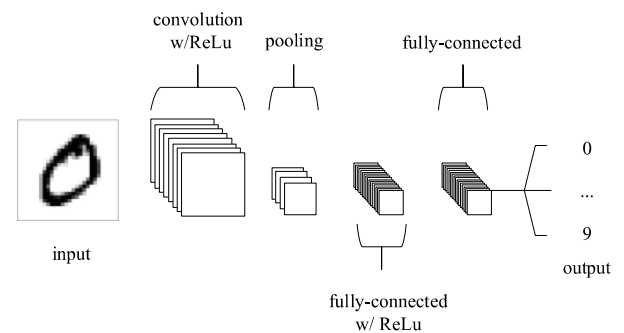


Figura 2.- Ilustra la arquitectura CNN simplificada (O'Shea 2015).

El aprendizaje supervisado es una técnica de aprendizaje que utiliza etiquetas de datos. En el caso de enfoques DL supervisados, el entorno tiene un conjunto de entradas y salidas correspondientes $(x_t, y_t) \sim \rho$. Por ejemplo, si para la entrada x_t , el agente inteligente predice $\hat{y} = t f(x)$, el agente recibirá un valor de pérdida $l(y, \hat{y})$.

Los sistemas de aprendizaje no supervisados son aquellos que pueden hacerlo sin la presencia de etiquetas de datos. En este caso, el agente aprende la representación interna o características importantes para descubrir relaciones o estructuras desconocidas dentro de los datos de entrada. A menudo, la agrupación, la reducción de la dimensionalidad y las técnicas generativas se consideran enfoques de aprendizaje no supervisados. Hay varios miembros de la familia del aprendizaje profundo que son buenos para la agrupación en clústeres y la reducción de dimensionalidad no lineal, incluidos Codificadores automáticos (AE), máquinas Boltzmann restringidas (RBM) y GAN de reciente desarrollo. Además, los RNN, como LSTM y RL, también



se utilizan para el aprendizaje no supervisado en muchos dominios de aplicación Arulkumaran(2017).

A través de este método simple de transformación, las CNN pueden transformar la entrada original capa por capa utilizando técnicas convolucionales y de reducción de muestreo para producir puntajes de clase con fines de clasificación y regresión.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Descenso de gradiente

El PMC calcula la ecuación (1):

$$o(x) = f\left(w_0 + \sum_{i=1}^n w_i x_i\right) = f(w_0 + \mathbf{w}^T \mathbf{x}) \quad (1)$$

$o(x)$ = Pronóstico
 w_0 = Intersección
 $\mathbf{w}=(w_1, \dots, w_n)$
 $\mathbf{x}=(x_1, \dots, x_n)$

donde w_0 denota la intersección, $\mathbf{w}=(w_1, \dots, w_n)$ el vector que consta de todos los pesos sinápticos sin la intersección y $\mathbf{x}=(x_1, \dots, x_n)$ el vector de todas las covariables. Esta función es matemáticamente equivalente a la de MLG (Modelos Lineales Generalizados) con función de enlace f^{-1} . Por lo tanto, todos los pesos (w_0, w_i) calculados en este caso son equivalentes a los parámetros de regresión del MLG.

Para aumentar la flexibilidad del modelado, se pueden incluir capas ocultas. Sin embargo, Hornik et al. (1989) demostró que una capa oculta es suficiente para modelar cualquier función continua a intervalos. Tal PMC con una capa oculta que consta de ν neuronas ocultas calcula la ecuación (2):

$$\begin{aligned} \alpha(\mathbf{x}) &= f\left(w_0 + \sum_{j=1}^J w_j \cdot f\left(w_{0j} + \sum_{i=1}^R w_{ij} x_i\right)\right) \\ &= f\left(w_0 + \sum_{j=1}^J w_j \cdot f\left(w_{0j} + \mathbf{w}_j^T \mathbf{x}\right)\right), \quad (2) \end{aligned}$$

$o(\mathbf{x})$ = Predicción
 w_0 = Intersección
 w_{0j} = Intersección en neuronal j^{th}
 $\mathbf{w}_j=(w_{1j}, \dots, w_{nj})$
 $\mathbf{x}=(x_1, \dots, x_n)$

donde w_0 denota la intersección de la neurona de salida y w_{0j} la intersección de la neurona oculta. Además w_j , denota el peso sináptico correspondiente a la sinapsis que comienza en la j^{th} neurona oculta.

El enfoque de descenso de gradiente es un algoritmo de optimización de primer orden que se utiliza para encontrar los mínimos locales de una función objetivo. Esto se ha utilizado para entrenar a las RNA en las últimas dos décadas con éxito. El algoritmo I explica el concepto de descenso de gradiente:

Algoritmo I. Gradiente de descenso

Entradas: función de pérdida ε , tasa de aprendizaje η , conjunto de datos X , y y el modelo $F(\theta, \mathbf{x})$
Salidas: Óptimo θ que minimiza ε
REPETIR hasta converger:

$$\begin{aligned} \tilde{y} &= F(\theta, \mathbf{x}) \\ \theta &= \theta - \eta \cdot \end{aligned}$$

FIN

3.2. Descenso de gradiente estocástico (SGD)

Dado que un tiempo de entrenamiento prolongado es el principal inconveniente del enfoque tradicional de descenso en gradiente, el enfoque SGD se utiliza para entrenar redes neuronales profundas (DNN) (Bottou 2012). Algoritmo II explica SGD en detalle.



REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

Arulkumaran, K., Deisenroth, M. P., Brundage, M., & Bharath, A. A. (2017). A brief survey of deep reinforcement learning. arXiv preprint arXiv:1708.05866.

Baluja, S., & Pomerleau, D. (1995). Encouraging distributed input reliance in spatially constrained artificial neural networks: Applications to visual scene analysis and control, 20(1), 23-38.

Bottou, L. (2012). Stochastic gradient descent tricks. In *Neural networks: Tricks of the trade* (pp. 421-436). Springer, Berlin, Heidelberg.

Hornik, K., Stinchcombe, M., & White, H. (1989). Multilayer feedforward networks are universal approximators. *Neural networks*, 2(5), 359-366.

O'Shea, K., & Nash, R. (2015). An introduction to convolutional neural networks. arXiv preprint arXiv:1511.08458.

Specht, D. F. (1988, July). Probabilistic neural networks for classification, mapping, or associative memory. In *ICNN* (pp. 525-532).

Specht, D. F. (1990). Probabilistic neural networks. *Neural networks*, 3(1), 109-118

Specht, D. F. (1991). A general regression neural network. *IEEE transactions on neural networks*, 2(6), 568-576

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Omar García León: Licenciado en Administración Financiera por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Maestría en Empresa en la Universidad de Barcelona, Doctor en la Universidad de Barcelona.

Miguel De Nazareth Pineda Becerril: Maestría en Ingeniería, Orientación: Mecánica, Campo Disciplinario: Metalmeccánica, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán Carrera Ingeniería Mecánica Eléctrica (Industrial), Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.

López Salazar Leonel Gualberto: Licenciado en Matemáticas Aplicadas y Computación por la FES Acatlán, Maestro en Gestión de Tecnologías de Información Universidad TEC MILENIO y doctorado en educación por parte de la UCI. Tutor de cursos y diplomados en línea para la DGTIC en el programa de capacitación de profesores en "Herramientas Tecnológicas para la enseñanza".

Celina Elena Urrutia Vargas: Ingeniera Química Industrial, egresada del Instituto Politécnico Nacional. Maestría y Especialidad en Educación, Doctorado en Educación. Ponente en el Diplomado "Enseñanza de las Matemáticas con el uso de las Nuevas Tecnologías" módulo I. "Reconocimiento Sor Juana Inés de la Cruz año 2020".

Judith Mayte Flores Pérez: Mae UPIITA. Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas. Ingeniera en Mecatrónica. SEPI ESE. Sección de Estudios de Posgrado e Investigación. Escuela Superior de Economía. Maestría en Ciencias Económicas, con especialidad en Desarrollo Económico. Estancia de investigación en la Universidad de Santiago de Compostela.





Movilidad y sistemas locales de empleo

Omar García León, Armando Aguilar Marquez, Miguel de Nazareth Pineda Becerril, Frida León Rodríguez, Rosalba Nancy Rosas Fonseca

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es analizar la evolución de los Sistemas Locales de Empleo (SLE) en España entre 2001 y 2011 de 11 subgrupos de población (género, 4 actividades, 4 sectores y población general). Se utiliza un proceso iterativo algorítmico con N-1 pasos para examinar los datos de desplazamiento para los 11 subgrupos y rastrear SLE en ambos años maximizando la autocontención de los trabajos (número de trabajos ocupados por residentes del área y número de residentes que trabajan en misma área) de las áreas generadas. Se calculan cuatro índices para cada SLE, y la variación de estos cuatro índices entre 2001 y 2011 nos permite clasificarlos como áreas que pasan de áreas con excedentes de empleo a áreas deficitarias, o viceversa. La evidencia indica un aumento de la movilidad, diferencia en las tasas de movilidad según las características de los subgrupos y la conversión de mercados excedentes en empleo a mercados deficitarios. Estas tendencias dan paso a áreas funcionales más amplias y niveles más bajos de autocontención que se reflejan en la duración del viaje al trabajo. Esto impacta en la calidad de vida, la cohesión social y la sostenibilidad de los territorios.

ABSTRACT

The objective of this work is to analyze the evolution of the Local Employment Systems (SLE) in Spain between 2001 and 2011 of 11 population subgroups (gender, 4 activities, 4 sectors and general population). An iterative algorithmic process with N-1 steps is used to examine displacement data for the 11 subgroups and track SLE in both years maximizing job self-containment (number of jobs held by area residents and number of residents working in the same area). Four indices are calculated for each SLE, and the variation of these four indices between 2001 and 2011 allows us to classify them as areas that move from areas with surplus employment to areas in deficit, or vice versa. The evidence indicates an increase in mobility, a difference in mobility rates according to the characteristics of the subgroups and the conversion of surplus markets in employment to deficit markets. These trends give way to broader functional areas and lower levels of self-containment that are reflected in commute times. This has an impact on the quality of life, social cohesion and the sustainability of the territories.

*UNAM, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Departamento de Matemáticas, ogarciale@comunidad.unam.mx, Dr. Omar García León, Dr. Armando Aguilar Márquez, Mtro. Miguel de Nazareth Pineda Becerril, Dra. Frida León Rodríguez, Dra. Rosalba Nancy Rosas Fonseca.

Palabras claves: Mercados Laborales Locales, Empleo, Movilidad, Política Laboral, Trabajadores Inmigrantes.

INTRODUCCIÓN

Este artículo contribuye al conocimiento actual sobre la evolución del mercado laboral y la movilidad laboral al estudiar el cambio en el tiempo de la elección del lugar de trabajo y en la movilidad de diferentes segmentos de la población. Existen estudios de la evolución de regiones específicas de sector y género a lo largo del tiempo para otros países (Farmer & Fotheringham, 2011; Green, Coombes, & Owen, 1986; Persyn, 2011). Este estudio contribuye a la literatura existente al examinar 11 subgrupos en toda España. En el contexto de la movilidad laboral, este documento aborda dos temas: la diferencia en la preferencia de lugar de trabajo para diferentes subgrupos de la población y el cambio en la movilidad a lo largo del tiempo. Desde la perspectiva de la evolución del mercado laboral, este estudio puede ayudar a generar conocimiento sobre dónde ubicar políticas e inversiones diseñadas para estimular el crecimiento del empleo a través de esfuerzos enfocados en regiones que muestran déficit de empleo. Y si estas políticas son compatibles con las preferencias y la movilidad comportamientos de diferentes subgrupos de la población, también el estudio contribuye a responder la pregunta de dónde ubicar las políticas públicas para limitar la mayor movilidad a través de la concentración geográfica de las funciones de vivir y trabajar. Por lo tanto, el documento evalúa dónde se encuentran las regiones desfavorecidas, indicando dónde se necesita crecimiento económico, e identifica las preferencias de movilidad de los diferentes tipos de trabajadores.

Esta investigación contribuye a la discusión de la evaluación de la trazabilidad geográfica de los mercados de trabajo y el examen de su evolución a través del tiempo. El documento se suma a la literatura al investigar cómo formar regiones funcionales consideradas como polos de atracción económica y propuestas como regiones analíticas individuales. Además, esta investigación contribuye a cumplir con las características deseadas para las regiones analíticas mencionadas recurrentemente, como: compacidad, contigüidad (Garfinkel & Nemhauser, 1970), restricciones de tamaño, forma (Rossiter & Johnston, 1981), y barreras naturales de la geografía como montañas y ríos o lagos (Zoltners & Sinha, 1983) que limitan la conectividad territorial (Horn, 2010). La metodología elegida limita el uso de decisiones arbitrarias y subjetivas y ayuda a optimizar las regiones de acuerdo con la información en estudio (vínculos sociales, económicos y





comerciales existentes entre los municipios). La técnica también produce una regionalización coherente y es fácil de interpretar sin necesidad de una matriz contigua. Además, contribuye a la literatura (Atkinson-Palombo & Kuby, 2011; Boermans, Roelfsema, Zhang., 2011; Carey, 1966; Plane & Heins, 2003) que plantea que los agentes económicos están sujetos a fuerzas que ejercen presiones diferentes en cada uno de ellos. ubicación geográfica. Evalúa sus principales hipótesis con metodologías que analizan la información contenida en variables generadas por fenómenos influidos por la ubicación de los agentes económicos y sociales. Estos trabajos parten del supuesto de que existen factores que actúan a nivel local que influyen en la actividad social y económica de cada región. El enfoque aplicado en este documento mejora la discusión en dos frentes. En primer lugar, desagrega a la población general en 11 estratos, reconociendo las diferentes necesidades de las personas que componen la plantilla y sus diferentes hábitos de movilidad a través de sus índices de autocontención, lo que permite profundizar en el análisis de las áreas. En este sentido, nuestros resultados muestran que las características intrínsecas de la fuerza laboral afectan sus preferencias de movilidad (Hansen, 2015). Hansen (2015) señala que existen diferencias de género en cuanto a la elección del lugar de trabajo, debido a que las mujeres están más influenciadas por las preferencias profesionales; el contenido del trabajo es importante y motiva la movilidad de la mano de obra altamente calificada. En segundo lugar, la evidencia empírica para evaluar la evolución de la SLE se construye con datos extraídos de los censos de 2001 y 2011, lo que permite captar el impacto en las condiciones laborales a través de una importante contracción económica.

2. Metodología y Datos

2.1 Datos

Cada 10 años, el Instituto Español de Estadística realiza el Censo de Población y Vivienda. Las encuestas realizadas en 2001 y 2011 permiten examinar en detalle un conjunto de características de los trabajadores (género, ocupación, actividad, lugar de residencia, lugar de trabajo). Debido a que el censo se realiza periódicamente (cada 10 años), es posible detectar cambios o evoluciones generales en la información. Por lo tanto, podemos determinar cambios en el espacio demográfico evaluando la estructura de movilidad o la situación del mercado laboral, sintetizando y presentando exploraciones muy específicas. En este caso de estudio, la muestra (Tab. 1) está estratificada por: género, ocupación (agricultura, servicios, construcción y manufactura) y actividad (profesional, cuello blanco, trabajo manual calificado y trabajo manual no calificado). Los viajeros de cada estrato trazan SLE tanto para 2001 como para 2011, que luego se clasifican en SLE que cambian de áreas excedentes en puestos de trabajo a áreas deficitarias o viceversa, debido a la variación de trabajadores, puestos de trabajo y dos índices de autocontención.

2.2 Metodología

La metodología escogida es un proceso iterativo con N-1 pasos basado en el cálculo de indicadores que miden la intensidad de los flujos de viajeros entre pares de áreas, fusionando en cada uno de los N-1 pasos las dos áreas más relacionadas. En cada paso, se agrupan dos áreas y la interacción entre estas dos áreas se convierte en una interacción interna (o intrazonal) para una nueva área resultante. Esta nueva área ahora toma el lugar de las dos áreas principales en el siguiente paso del análisis (De Jong & Van der Vaart, 2010). Esta metodología, utilizada sobre la matriz origen-destino de viaje, permite inferir grupos de regiones homogéneas en función del número de personas que viven en una área y comparten destinos en su trayecto diario al trabajo. Estas regiones (SLE) están formadas por municipios, y las consideramos similares si los trabajadores tienen destinos (trabajo) y orígenes (residencia) similares en su vida cotidiana. Es decir, dos áreas se consideran similares si las personas que viven en estos dos municipios tienen destinos similares en su viaje. Específicamente, en cada N-1 pasos del proceso de aglomeración la función objetivo:

$$\frac{T_{ij}}{(\sum_i T_{ij} * \sum_j T_{ji})} + \frac{T_{ji}}{(\sum_i T_{ji} * \sum_j T_{ij})} \quad (1)$$

es maximizada,

donde

\bar{T}_{ij} = es la interacción entre el origen i y el destino j .

3. Resultados y análisis

Tabla 1. índices de movilidad por estrato por año

	Census 2011		Census 2001	
	Auto-Contención de la Oferta	Auto-Contención de la Demanda	Auto-Contención de la Oferta	Auto-Contención de la Demanda
Estrato:	Media	Media	Media	Media
<i>General Población</i>	82.1%	83.5%	87.4%	85.2%
<i>Mujeres</i>	83.0%	84.8%	91.5%	89.6%
<i>Hombres</i>	74.9%	79.1%	87.1%	85.6%
Clasificación Nacional de Actividades:				
<i>Agricultura</i>	79.4%	78.1%	84.8%	87.8%
<i>Manufactura</i>	74.5%	79.6%	72.1%	73.8%
<i>Construcción</i>	71.4%	78.5%	75%	75.9%
<i>Servicios</i>	82.3%	83.2%	83.1%	83.8%
Clasificación Nacional de Ocupaciones:				





Administradores, Profesionales y Técnicos	56.4%	61.4%	52.5%	59.6%
Supervisores y No Manuales Trabajadores	88.1%	89.3%	91.4%	87.2%
Trabajadores Manuales Calificados	72.1%	75.6%	76.1%	74.4%
Trabajadores Manuales No Calificados	76.3%	78.1%	75.3%	73.2%

Fuente: García & Becerril (2021)

Los resultados muestran un aumento de los flujos intermunicipales en todo el territorio, lo que apunta a un aumento global de la movilidad, dando paso a áreas funcionales más amplias y menores niveles de autocontención reflejados en la duración del viaje al trabajo. Esto impacta en la calidad de vida, la cohesión social y la sostenibilidad de los territorios. Afectados por el aumento del tránsito vehicular, los territorios ven mayores niveles de contaminación atmosférica y acústica, exigiendo nuevas y específicas políticas para su ordenación. En este sentido, los flujos de desplazamiento son relevantes para fines de planificación en el transporte y la vivienda, otorgándoles valor como base para las políticas de transporte y crecimiento económico.

tratamientos específicos para la gestión ambiental, la infraestructura, la cultura, el desarrollo económico, la educación municipal, etc. Esto indica que las trabajadoras tienden a residir dentro de la misma SLE en porcentajes más altos que los trabajadores varones. Esto se debe a que el viaje al trabajo está más influenciado por las preferencias profesionales de las mujeres que por las de los hombres. En ambos años, la movilidad entre segmentos muestra que el segmento de Profesionales y Técnicos Administrativos Fig. 1 (García & Becerril 2021) tiene la mayor tendencia a desplazarse seguido del segmento Masculino.

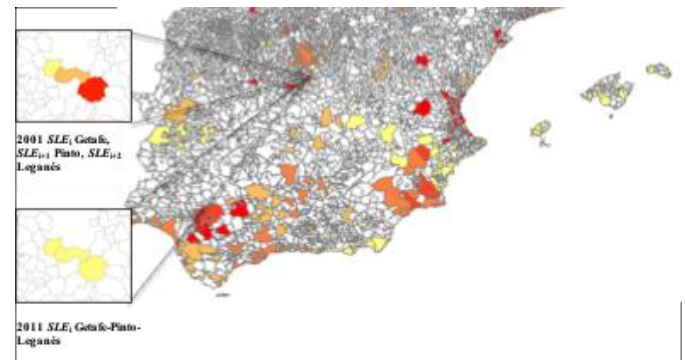


Figura 2.- Cambio del SLE (Construcción) 2001-2010 Getafe-Pinto-Leganés (García & Becerril 2021)

El segmento con menor propensión a viajar es el segmento Femenino seguido del segmento de la Construcción Fig. 2 (García & Becerril 2021). Este resultado que muestra una mayor distancia de desplazamiento en el segmento de Profesionales y Técnicos Administrativos contradice la suposición de que una tasa salarial más alta conduciría a un desplazamiento más corto. Una posible explicación es que los trabajadores con altos ingresos suelen tener un alto nivel de educación y especialización. Como consecuencia, el segmento del mercado laboral que es relevante para ellos es más pequeño que para otros segmentos. Además, estos trabajadores también tienen preferencias con respecto a la vivienda que restringen sus conjuntos de elección a un pequeño segmento del mercado de la vivienda, lo que puede implicar que las combinaciones satisfactorias de residencia y trabajo solo se pueden realizar a costa de aceptar largos viajes al trabajo.

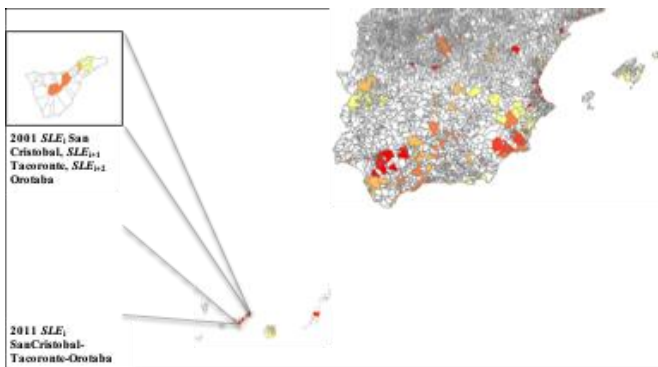


Figura 1.- Cambio del SLE (Profesionales Técnicos y Administrativos) 2001-2010 San Cristóbal-Tacoronte-Orotaba (García & Becerril 2021)

Por lo tanto, la ubicación de casas y trabajos en diferentes puntos del espacio implica la necesidad de un transporte costoso que debería ser facilitado por una infraestructura costosa, entre otros tipos de intervenciones de política relacionadas con la asistencia gubernamental. Es necesario discutir y eventualmente reconocer, al menos en las inversiones y asignaciones presupuestarias, las tensiones e ineficiencias resultantes de la brecha entre el espacio funcional y el gobierno local. Es probable que se requieran

En general, hay un aumento de la movilidad como consecuencia de la disminución del autoconfinamiento entre 2001 y 2011, como se muestra en la disminución de los índices de oferta y demanda de los segmentos Femenino, Masculino, Agricultura y Construcción. Los segmentos de Manufactura, Trabajadores Manuales No Calificados y Profesionales y Técnicos Administrativos muestran una disminución en la movilidad. En resumen, hay un incremento de los flujos intermunicipales en todos los territorios, lo que apunta a un aumento global de la movilidad. Los índices de autocontención muestran una reducción en la concentración de flujos, lo que significa que aumenta la interacción urbana entre



regiones. Junto a esta tendencia, se realiza una clasificación de los SLE considerando su variación entre ambos años en los índices de ocupación y número de trabajadores, y en los índices de autocontención de la demanda y la oferta.

Encontramos que hay zonas con una importante oferta de empleo que tienen la capacidad de atraer flujos de trabajadores de las zonas aledañas. Las áreas que muestran un déficit de empleos podrían recibir ayuda con políticas y asignación de recursos. Nuestra evidencia también muestra diferentes comportamientos de la fuerza laboral que coinciden con las características de cada segmento de nuestros subgrupos. El segmento con mayor tendencia a desplazarse es el de Profesionales y Técnicos Administrativos seguido del segmento Masculino. El segmento con menor propensión a viajar es el segmento Femenino seguido del segmento de la Construcción. Este comportamiento se evidencia en los niveles de autocontención (tanto de la oferta como de la demanda) de los SLE formados únicamente por trabajadoras, que son superiores a los de los hombres en ambos años, lo que indica que los SLE formados por trabajadoras son más cerrados en términos de salidas y las entradas y que la interacción funcional con otros SLE es menor para las mujeres que para los hombres. Esto indica que un mayor porcentaje de trabajadoras residen dentro de la misma SLE que los trabajadores varones. Una posible explicación es que el viaje al trabajo está más influenciado por las preferencias profesionales de las mujeres que de los hombres, lo que respalda hallazgos previos sobre este tema en la literatura (Hansen 2015).

Con respecto a los segmentos de Construcción, Trabajadores Manuales No Calificados y Manufactura, sus índices de autocontención son representativos de mercados deficitarios en ambos años, aunque el déficit aumenta en 2011. Esto se refleja en una mayor diferencia entre los índices de autocontención de 2001 y 2011, ya que el índice de autocontención de la oferta es inferior al índice de autocontención de la demanda, lo que indica un déficit de puestos de trabajo y un predominio de las salidas sobre las entradas en su SLE.

Los segmentos de Manufactura y Construcción fueron los dos más afectados, presentando ya un déficit de empleos en 2001. El déficit aumentó aún más, siendo el sector de la construcción el más afectado ya que hay una contracción en la oferta de empleos y un aumento en la demanda.

Hay un aumento en la movilidad, evidenciado por la disminución de ambos índices de autocontención entre 2001 y 2011, para los segmentos Femenino, Masculino, Agricultura y Construcción. Sin embargo, los segmentos Manufactura, Trabajadores Manuales No Calificados y Profesionales y Técnicos Administrativos muestran una disminución en la movilidad entre 2001 y 2011, lo que implica que estos tres segmentos tenían menos incentivos para recorrer una mayor distancia en 2011 que en 2001. Asimismo, estos tres segmentos muestran un déficit de puestos de trabajo en 2011.

4. Conclusiones

El creciente problema del aumento de la movilidad se puede abordar mediante políticas que se centren en varias áreas. Por ejemplo, la movilidad puede abordarse a través de políticas enfocadas en ubicar las viviendas y los lugares de trabajo a distancias fácilmente recorridas por medios de transporte alternativos como la bicicleta o el transporte público, limitando la posterior urbanización de las zonas rurales. Concentrar geográficamente las funciones de vivienda y trabajo a través de la promoción del Desarrollo Orientado al Tránsito (TOD) que significa construir edificios de viviendas de alta densidad, lugares de trabajo, servicios y tiendas cerca de las estaciones del sistema de transporte masivo. También es importante la construcción de instalaciones y servicios de transporte adecuados, la flexibilidad del tiempo de trabajo y la disponibilidad de servicios complementarios como el cuidado de los niños. Además, las condiciones favorables del mercado de la vivienda representan un factor importante en la reducción de la movilidad. Finalmente, la expansión del teletrabajo puede considerarse una innovación tecnológica y organizativa para disminuir la movilidad.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- Atkinson-Palombo, C., & Kuby, M. J. (2011). The geography of advance transit-oriented development in metropolitan Phoenix, Arizona, 2000–2007. *Journal of Transport Geography*, 19(2), 189–199. doi: 10.1016/j.jtrangeo.2010.03.014
- Boermans, M. A., Roelfsema, H., & Zhang, Y. (2011). Regional determinants of FDI in China: A factor-based approach. *Journal of Chinese Economic and Business Studies*, 9(1), 23–42. doi: 10.1080/14765284.2011.542884
- Carey, G. W. (1966). The Regional Interpretation of Manhattan Population and Housing Patterns through Factor Analysis. *Geographical Review*, 56(4), 551. doi: 10.2307/213059
- De Jong, T., & Van der Vaart, N. (2010). Manual Flowmap 7.4. The Netherlands: Faculty of Geographical Sciences, Utrecht University. Retrieved from [Http://Flowmap. Geo. Uu. Nl/Downloads/FM740_Manual. Pdf](http://Flowmap.Geo.Uu.Nl/Downloads/FM740_Manual.Pdf).
- Farmer, C. J. Q., & Fotheringham, A. S. (2011). Network-Based Functional Regions. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 43(11), 2723–2741. doi: 10.1068/a44136
- García, Omar & Becerril, Miguel. (2021). Local labour markets and mobility in Spain 2001–2011. *Forum geografic*. XX. 189–200. 10.5775/fg.2021.066.d.



Garfinkel, R. S., & Nemhauser, G. L. (1970). Optimal Political Districting by Implicit Enumeration Techniques. *Management Science*, 16(8), B-495- B-508. doi: 10.1287/mnsc.16.8.B495

Green, A. E., Coombes, M. G., & Owen, D. W. (1986). Gender-specific local labour market areas in England and Wales. *Geoforum*, 17(3-4), 339- 351. doi: 10.1016/0016-7185(86)90002-3

Hansen, K. E. H. (2015). Labour mobility in the public sector: The impact of job opportunities. *Geografisk Tidsskrift-Danish Journal of Geography*, 115(2), 133-141. doi: 10.1080/00167223.2015.1080623

Horn, M. E. T. (2010). Solution Techniques for Large Regional Partitioning Problems. *Geographical Analysis*, 27(3), 230-248. doi: 10.1111/j.1538- 4632.1995.tb00907.x

Persyn, D. (2011). Functional Labor Markets in Belgium: Evolution over time and intersectoral comparison.

Plane, D. A., & Heins, F. (2003). Age articulation of U.S. inter-metropolitan migration flows. *The Annals of Regional Science*, 37(1), 107-130. doi: 10.1007/s001680200114

Rossiter, D. J., & Johnston, R. J. (1981). Program GROUP: The Identification of All Possible Solutions to a Constituency-Delimitation Problem. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 13(2), 231-238. doi: 10.1068/a130231

Zoltners, A. A., & Sinha, P. (1983). Sales Territory Alignment: A Review and Model. *Management Science*, 29(11), 1237-1256. doi: 10.1287/mnsc.29.11.1237

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Omar García León: Licenciado en Administración Financiera por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Maestría en Empresa en la Universidad de Barcelona, Doctor en la Universidad de Barcelona.

Armando Aguilar Márquez: Doctor en Ingeniería Sobresaliente Cum Laude por la Universidad Politécnica de Madrid, Maestría en Contaminación Ambiental por la Universidad Politécnica de Madrid.

Miguel De Nazareth Pineda Becerril: Maestría en Ingeniería, Orientación: Mecánica, Campo Disciplinario: Metalmeccánica, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán Carrera Ingeniería Mecánica Eléctrica (Industrial), Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.

Frida Leon Rodriguez: Doctora en Ingeniería Sobresaliente Cum Laude por la Universidad Politécnica de Madrid, Maestría en Contaminación Ambiental por la Universidad Politécnica de Madrid.

Rosalba Nancy Rosas Fonseca: Maestría en Gestión y Administración de proyectos TI del Tec Millenio. Lic. en Informática egresada de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM.





Análisis de un portafolio de acciones de empresas pertenecientes al sector del acero

María Petra González Vargas, Minely Gabriela Robles Rivera, Mónica Muñiz Arzate *

RESUMEN

Esta investigación aborda el análisis de un portafolio de inversión conformado por empresas del sector acerero en Estados Unidos, las empresas elegidas fueron las siguientes 1. United States Steel Corporation 2. Cleveland-Cliffs inc. 3. ArcelorMittal, 4. Nucor Corporation. Se recabó información financiera de dichas empresas desde el 2017 a 2020, realizando como primer punto el análisis de sus razones financieras, posteriormente un análisis de los precios de sus acciones para determinar rendimientos, riesgos y probabilidad de pérdida para conformar un portafolio con el fin de poder maximizar rendimientos y minimizar riesgos.

ABSTRACT

This investigation is the analysis of investment portfolio made up of companies from the steel sector, the companies chosen were the following 1. United States Steel Corporation 2. Cleveland-Cliffs Inc. 3. ArcelorMittal, 4. Nucor Corporation. Information was gathered from these companies from 2017 to 2020, performing as a first point the analysis of their financial reasons, then an analysis of their share prices to determine returns, risks, and probability of loss to form an investment portfolio in order to maximize returns and minimize risks.

Palabras claves: portafolio de inversión, acciones, riesgo, razones financieras, liquidez, rentabilidad, endeudamiento, apalancamiento y pérdida,

INTRODUCCIÓN

En los mercados internacionales los instrumentos de deuda a corto plazo se negocian en el mercado de dinero, estos instrumentos se caracterizan por alta liquidez y bajo riesgo [1] un número relativamente pequeño de bancos domina el mercado internacional de dinero, donde Londres tiene una importancia alta como centro bancario internacional. La tasa interbancaria de Londres (Libor) es la principal tasa de referencia en los mercados financieros

internacionales, la mayor parte de los bancos pertenecen a Estados Unidos, Japón, Reino Unido y Alemania. El tamaño de un banco se mide por su capital contable el cual es la diferencia entre el valor de los activos y el valor de los pasivos, así como el valor de los activos que maneja, existen dos tipos de mercado para negociar las acciones esto es el mercado bursátil y el mercado over the counter (OTC) dentro de este el más grande del mundo es el National Association of Security Dealers Automated Quotation System (NASDAQ) que compite con las empresas enlistadas de alta tecnología NYSE. De acuerdo con [1] los intermediarios financieros crearon un instrumento denominado American Depository Receipt (ADR) debido a las demandas de empresas extranjeras, con esto un intermediario financiero de Estados Unidos, típicamente un banco, adquiere una cantidad de acciones de una empresa extranjera y contra este fondo emite los ADR que es un recibo representando acciones de una empresa extranjera, el arbitraje respalda que los precios de los ADR en la bolsa de Nueva York se muevan junto con las acciones en el país de origen por otro lado los World Equity Benchmark shares (WEBS) tiene estructura semejante a los ADR, pero en vez de acciones individuales ofrecen portafolios que replican índices internacionales de MSCI, los WEBS se negocian en bolsas de valores

ANTECEDENTES

Se ha elevado el consumo de acero en industrias críticas en la economía estadounidense de acuerdo con Ortiz [7] frente a la caída de la producción su capacidad productiva se ha mantenido constante, la industria del acero opera aproximadamente al 72,3 por ciento de su capacidad, la producción nacional de acero en 2017, se destinaron a exportaciones, la economía estadounidense profundizó su dependencia importadora al pasar de 30.1 a 33,8 por ciento entre 2001 y 2017, por lo que figuró como el segundo mayor importador de acero en el mundo.

Analizando un poco la economía de Estados Unidos entre 2017 y 2021 [10], la Administración de Trump rompió paradigmas comerciales y forzó la apertura ideológica de la Reserva Federal, abriendo el techo de gasto para los gobiernos del futuro. Lo que Trump hizo en el plano económico pudiera, incluso, facilitar el trabajo de su sucesor y presidente electo Joe Biden, según los especialistas. “Trump heredó una muy buena economía y la dejó hecha un desastre,” resume Mark Zandi, economista jefe de Moody’s Analytics. En 2017, cuando Trump llegó a la presidencia el desempleo iba a la baja y el PIB al alza, la economía no se había recuperado por completo del choque de la crisis financiera del

*Universidad del distrito Federal, Unidad de posgrado, maría_gonzalez05@hotmail.com, Doctora en Dirección de Organizaciones. Universidad del distrito Federal, Unidad de posgrado, minelyrivera01@gmail.com, Doctorante en Dirección de Organizaciones Universidad del distrito Federal, Unidad de posgrado, monimax@hotmail.com, Doctorante en Dirección de Organizaciones.



2008, pero las tendencias se mostraban a su favor, esto dicho por Zandi.

Para el primer año de su presidencia bajó impuestos para las grandes corporaciones, por lo que la economía se fortaleció brevemente en 2018, año en el que el presidente emprendió una guerra comercial desde China y Corea del Sur a México o Alemania. A raíz de esto, para fines de 2019, las manufacturas estaban en recesión, la agricultura en recesión, el transporte en recesión y, fue entonces cuando, de hecho, Trump pidió una tregua. Si el Gobierno de Estados Unidos llegó a un acuerdo con China fue porque se dio cuenta de que se acercaban las elecciones de 2020, opina el economista. el PIB creció más lentamente bajo el mandato de Trump que con ningún otro presidente desde Harry Truman, quien llegó al poder en 1945.

La pandemia por el COVID-19 ha marcado un punto de inflexión en la economía de Estados Unidos. No se puede culpar a Trump por la pandemia, pero sí se le puede culpar por su respuesta fallida a la pandemia, coinciden los economistas Blyth y Zandi. Desde el principio, la Administración se negó a ver de frente la amenaza que esta pandemia sería, desde ignorar advertencias antes de que llegara al territorio nacional, hasta negar su seriedad para justificar su inacción. China y otros países en Asia se enfocaron en confinamientos estratégicos y pruebas masivas para contener el contagio, y sus economías están ya recuperadas total o parcialmente.

Para nuestro análisis elegimos a las siguientes empresas:

Cleveland-Cliffs: [13] Ha sido tradicionalmente reconocida como la empresa minera independiente de mineral de hierro más grande y antigua de los Estados Unidos. En 2020, Cleveland-Cliffs llevó a cabo una transformación que mantendrá a la empresa prosperando durante el próximo siglo con la adquisición de dos importantes empresas siderúrgicas en Estados Unidos. En la actualidad, es la mayor empresa de acero laminado plano y el mayor productor de pellets de mineral de hierro de América del Norte. La Compañía está integrada verticalmente, desde materias primas extraídas, hierro de reducción directa y chatarra ferrosa hasta la fabricación de acero primaria y el acabado, estampado, herramientas y tuberías aguas abajo y aguas abajo con estampado en frío y en caliente de piezas y componentes de acero. Tiene la ventaja de ser autosuficientes con la producción de materias primas para sus operaciones de fabricación de acero.

United States Steel Corporation: [14] Nacida en 1901, US Steel se formó con la unión de algunos de los empresarios más legendarios de Estados Unidos, incluidos Andrew Carnegie, JP Morgan y Charles Schwab. Pero nuestro arquitecto principal fue Elbert H. Gary, el primer presidente de US Steel. A principios de siglo, un grupo encabezado por Gary y Morgan compró la empresa siderúrgica Carnegie y la combinó con sus

participaciones en la Federal Steel Company. Estas dos empresas se convirtieron en el núcleo de US Steel. En las décadas que siguieron, US Steel ha jugado un papel integral en la historia de los Estados Unidos, incluido el suministro de acero para innumerables edificios, puentes y otras estructuras estadounidenses icónicas.

En octubre de 2001, los accionistas de USX Corporation votaron a favor de adoptar un plan de reorganización. El plan resultó en la escisión de las empresas siderúrgicas y relacionadas con el acero de USX en una empresa independiente que cotiza en bolsa conocida como United States Steel Corporation, el nombre de la corporación cuando se estableció un siglo antes. Los negocios de energía restantes de USX se convirtieron en Marathon Oil Corporation. Las dos nuevas empresas comenzaron a operar oficialmente de forma independiente el 1 de enero de 2002.

Se anuncia intención de lograr emisiones netas de carbono cero para 2050, basándose en el objetivo para 2030 de reducir la intensidad de las emisiones de gases de efecto invernadero en un 20% sobre la base de una línea de base de 2018.

United States Steel Corporation se convierte en el primer productor de acero de América del Norte en unirse a ResponsibleSteel TM, una organización global dedicada a promover la contribución del acero a un futuro sostenible en toda la cadena de suministro industrial.

A medida que amplían su presencia, continúan operando de manera ambientalmente responsable y segura. Con iniciativas en curso para reducir el desperdicio, mejorar la conservación del agua y reducir las emisiones de carbono en un 25% para 2030, prometen convertirse en el líder de América del Norte en la sostenibilidad de la producción de acero y la minería.

ArcelorMittal: [15] En 1976 Lakshmi Mittal sienta las bases de la empresa que se convertirá en ArcelorMittal con el establecimiento de PT Ispat Indo, una planta de fabricación de acero totalmente nueva en Indonesia. En 2006 Mittal Steel y Arcelor se fusionan para crear la empresa siderúrgica más grande del mundo, que se llamaría oficialmente ArcelorMittal al año siguiente, adquiere Sicarta, un productor mexicano de aceros largos, para convertirse en el mayor productor de acero de México.

ArcelorMittal y Liberia celebran un Acuerdo de Desarrollo Minero para reiniciar la extracción de mineral de hierro en el país tras 20 años de ausencia. En sus resultados financieros anuales de 2019, ArcelorMittal informa una deuda neta de 9.300 millones de dólares, su nivel más bajo hasta la fecha, y una mejora del Ebitda estructural de 2.000 millones de dólares a través de su plan estratégico Acción 2020. ArcelorMittal es reconocida por CDP por su liderazgo en transparencia corporativa y acción sobre el cambio



climático, con una calificación A en la evaluación de cambio climático de CDP de 2019.

ArcelorMittal en México: En 1992 la empresa Ispat International adquirió la segunda parte del complejo siderúrgico de Lázaro Cárdenas Las Truchas (Sicartsa). Más tarde, en 2005 se fusiona con otras empresas y crea el consorcio Mittal Steel. Un año más tarde, compra Sicartsa a Grupo Villacero, dando lugar al complejo siderúrgico que se conoce actualmente.

ArcelorMittal México es una Sociedad Anónima de Capital Variable, cuya principal operación se ubica en Lázaro Cárdenas, Michoacán; esta planta siderúrgica cuenta con una extensión territorial de 999.87 hectáreas. A nivel nacional se cuenta con más de 8,000 colaboradores directos y cerca de 50,000 indirectos.

En el mercado nacional tiene una participación estimada de mercado del 22-25% Arcelormittal es uno de los mayores productores de mineral de hierro a nivel mundial. El negocio de la minería es uno de los pilares de la estrategia de crecimiento de esta empresa.

Actualmente se cuenta con operaciones mineras en 9 países: Argelia, Bosnia y Herzegovina, Brasil, Canadá, Kazajistán, Liberia, México, Ucrania y Estados Unidos. Durante 2015, se produjeron 73.7 millones de toneladas de mineral de hierro a nivel mundial, al tiempo que en ArcelorMittal Las Truchas se produjeron 3.3 millones de toneladas destinadas a la producción de acero de la más alta calidad.

Nucor Corporation: [16] Desde automóviles hasta servicios nucleares y acero, la historia de Nucor trata sobre la capacidad de adaptarse a los tiempos cambiantes. La cultura innovadora y centrada en los compañeros de equipo de la empresa catapultó a Nucor de la pequeña empresa siderúrgica que podía hacerlo al mayor productor y reciclador de Estados Unidos. Estos son los eventos que ayudaron a Nucor a cambiar la faz de la industria del acero. Destacando los datos más importantes en octubre de 2014 Nucor compra Gallatin Steel, un laminador plano en Ghent, Kentucky, que se convierte en Nucor Steel Gallatin LLC. La adquisición aumenta la capacidad de laminado plano de Nucor en un 16 por ciento y amplía la presencia de la compañía en la importante región del Medio Oeste. En 2016 Nucor continúa ejecutando su estrategia de crecimiento rentable. La compañía adquiere una planta de chapa gruesa en Longview, Texas, y anuncia una empresa conjunta con JFE Steel Corporation de Japón para construir una planta en el centro de México para abastecer el creciente mercado automotriz de ese país. Nucor también avanza con audacia en el mercado de tubos de acero, agregando más de un millón de toneladas de capacidad con la adquisición de

Independence Tube Corporation, Southland Tube Incorporated y Republic Conduit.

DESARROLLO

Las empresas acuden a la bolsa emitiendo títulos que son comprados y vendidos como menciona [3] mediante el instrumento de mediación financiera en el mercado de valores o títulos, donde la oferta y la demanda se rige por los deseos de estos, en este mercado se debe distinguir entre el mercado primario o de emisión y el mercado secundario o de negociación, dentro del mercado primario se canaliza el ahorro hacia la inversión y se instrumenta a través de títulos y sus valores. El mercado secundario tiene como finalidad potenciar el mercado primario dándole liquidez, en la bolsa los ahorradores colocan su dinero a cambio de rentabilidad y otros que compraron previamente desean vender mediante negociaciones de activos financieros como acciones, obligaciones y efectos públicos, los títulos pueden ser de renta fija con obligaciones, bonos bancarios y deuda pública, que son una promesa de devolución de la cantidad principal mas una renta fija en un plazo determinado, los títulos de renta variable que son acciones carecen de la seguridad de una renta futura, pero tienen la posibilidad de un mayor rendimiento.

La teoría de Harry Markowitz para la elección de los portafolios propone que las empresas que lo integren deben maximizar el rendimiento esperado en conjunto y esto incluye cierto riesgo [5] el comenta que se minimiza el riesgo a un nivel esperado de rendimiento dando un esperado nivel de rentabilidad. Según [6] el riesgo de un activo se calcula por medio de su desviación estándar cuando se considera un solo título, sin embargo, la mayoría de los inversionistas tiene un portafolio de activos financieros, por eso se introduce la variable beta que muestra la sensibilidad de la rentabilidad de una acción frente a la rentabilidad del mercado

ANÁLISIS DEL PORTAFOLIO

Teniendo como objetivo realizar una inversión informada es necesario conocer y estudiar los factores que influyen en la fluctuación de los precios de las empresas sobre las que se invertirá, tales como sus expectativas de crecimiento, las noticias y reportes que emiten y sus resultados, con base en ello realizar un análisis para poder tener una visión financiera de las mismas.

Las razones financieras son indicadores que miden y cuantifican la situación de la empresa, ayudan a interpretar los datos de los estados financieros y permite analizar y realizar comparativos entre los datos financieros de ejercicios pasados y comparativos entre empresas del mismo giro o misma industria. Se obtiene de relacionar dos o más rubros que integran los estados financieros, se dividen principalmente en cuatro grupos de razones financieras: 1. Operaciones 2. Liquidez, 3. Endeudamiento o Apalancamiento y 4. Rentabilidad.

Para el análisis de las cuatro empresas acereras que seleccionamos, comenzamos por obtener información referente a sus estados



financieros: Balance General, Estado de Resultados y Estado de Flujo de Efectivo pertenecientes a los ejercicios 2017, 2018, 2019 y 2020.

La información fue obtenida de los datos públicos de la página de Investing.com con el objetivo de calcular las razones financieras de cada empresa y poderlas comparar entre sí.

Las razones Operativas se enfocan en medir la eficiencia con la que la compañía convierte los activos en ventas y las ventas en dinero, es decir mide como la empresa está utilizando sus activos para generar utilidades. Mientras mayor sea el resultado, mejor uso se le estará dando a los activos.

Dentro de este rubro se analizaron cinco razones financieras: Rotación del Activo, Rotación de Activo Fijo, Rotación de Activo Circulante y Composición de los Activos tanto Circulante como Activo Fijo Neto. Tabla 1.

Tabla 1.- Razones Financieras Operativas

OPERATIVAS	
Rotación del activo	=Ventas Netas*100/Activos totales
Rotación del activo fijo	=Ventas Netas*100/Activo Fijo Neto
Rotación del activo circulante	=Ventas Netas*100/Activo Circulante
Composición de los activos (1)	=Activo Circulante/Activo Total
Composición de los activos (2)	=Activo Fijo Neto/Activo Total

Fuente: "Fundamentos de Administración Financiera 2002, James C. Van Horne"

Realizando la comparativa global entre las cuatro empresas para este grupo de razones financieras la empresa que presenta los mejores números es Nucor Corporation Tabla 2.

Tabla 2.- Razones Financieras Operativas Nucor Corporation

OPERATIVAS	Nucor Corporation			
	2020	2019	2018	2017
Rotación del activo	100.07	123.14	139.88	127.85
Rotación del activo fijo	288.00	360.29	469.89	397.64
Rotación del activo circulante	212.25	274.59	290.26	296.76
Composición de los activos (1)	0.47	0.45	0.48	0.43
Composición de los activos (2)	0.35	0.34	0.30	0.32

Fuente: Elaboración propia

Las razones de Liquidez evalúan la capacidad que tiene la compañía para poder hacer frente a sus obligaciones, así como la habilidad para convertir activos en efectivo, para el cálculo se considera los activos más líquidos es decir los activos con mayor

probabilidad de convertirse en efectivo para realizar el pago de los pasivos de corto plazo. Mientras más alta sea esta razón, mayor será la capacidad que tiene la empresa para pagar sus deudas; de lo contrario, mientras menor sea el resultado, menor será la capacidad que tiene la compañía de pagar sus deudas.

Dentro del análisis de la liquidez, trabajamos con siete razones financieras: Circulante, Prueba Rápida, Capital Neto de Trabajo, Disponible, Coeficiente de Solvencia, Días de Inventario, Días de cuentas por cobrar, Días de proveedores y Ciclo financiero. Tabla 3.

Tabla 3.- Razones Financieras de Liquidez

LIQUIDEZ	
Circulante	=Activo Circulante/Pasivo Circulante
Prueba rápida	=(Activo Circulante-Inventarios)/Pasivo circulante
Capital Neto de Trabajo	=Activo circulante-Pasivo circulante
Disponible	=Efectivo e inversiones a corto plazo/Pasivo
Coeficiente de Solvencia	=Pasivo total/Capital Contable
Días de Inventario	=Inventarios*365/Costo de Ventas
Días de cuentas por cobrar	=Cuentas por cobrar*365/Ventas netas
Días de proveedores	=Proveedores*365/Costo de Ventas
Ciclo Financiero	=Días Inventario+Días de cuentas por cobrar-Días de proveedores

Fuente: "Fundamentos de Administración Financiera 2002, James C. Van Horne"

Para este grupo de razones financieras las empresas que presenta los mejores números es Nucor Corporation Tabla 4 y la empresa Cleveland-Cliffs Inc Tabla 5.

Tabla 4.- Razones Financieras Operativas Nucor Corporation

LIQUIDEZ	2020	2019	2018	2017
	Nucor Corporation			
Circulante	2.33	2.23	2.22	1.77
Prueba rápida	1.46	1.19	1.05	0.87
Capital Neto de Trabajo	5,423.72	4,530.87	4,741.03	2,964.44
Disponible	0.75	0.50	0.36	0.26
Coeficiente de Solvencia	0.87	0.77	0.83	0.81
Días de Inventario	72.82	70.51	79.96	71.53
Días de cuentas por cobrar	49.93	38.79	36.86	36.56
Días de proveedores	24.92	19.92	23.50	21.54
Ciclo Financiero	97.82	89.39	93.32	86.56

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.- Razones Financieras Operativas Cleveland-Cliffs Inc.

LIQUIDEZ	2020	2019	2018	2017
	Cleveland-Cliffs Inc.			
Circulante	0.63	0.87	1.46	1.41
Prueba rápida	0.18	0.56	1.28	1.20
Capital Neto de Trabajo	- 3,083.00	- 134.20	467.10	451.10
Disponible	0.01	0.16	0.81	0.89
Coeficiente de Solvencia	5.09	8.79	7.32	7.65
Días de Inventario	286.49	81.92	43.44	59.52
Días de cuentas por cobrar	117.33	27.99	53.83	30.96
Días de proveedores	117.87	49.86	44.80	26.07
Ciclo Financiero	117.87	60.05	52.47	64.42





Fuente: Elaboración propia

Las razones de Endeudamiento o Apalancamiento plasman el riesgo financiero que la empresa tiene, la relación entre deuda y capital que tiene la compañía, que tanto se ha financiado por medio de la deuda. Mientras mayor sea el riesgo financiero de la empresa las posibilidades de que no pague o, incluso, quiebre son mayores.

Las razones financieras de Endeudamiento que se analizan son: Endeudamiento, Deuda a corto plazo, Deuda a largo plazo y Cobertura de Gastos Financieros. Tabla 6.

Tabla 6.- Razones Financieras de Endeudamiento o Apalancamiento

APALANCAMIENTO	
Endeudamiento	=Capital contable/Pasivo Total
Deuda a corto plazo	=Pasivo a corto plazo/Pasivo Total
Deuda a largo plazo	=Pasivo a largo plazo/Pasivo Total
Cobertura de Gastos Financieros	=Utilidad antes de intereses e impuestos/Gastos Financieros

Fuente: Elaboración propia

Para este grupo de razones financieras la empresa que presenta el menor grado de Apalancamiento es Cleveland-Cliffs Inc Tabla 7.

Tabla 7.- Razones Financieras Endeudamiento o Apalancamiento Cleveland-Cliffs Inc.

	2020	2019	2018	2017
Cleveland-Cliffs Inc.				
APALANCAMIENTO				
Endeudamiento	0.20	0.11	0.14	0.13
Deuda a corto plazo	0.60	0.33	0.33	0.32
Deuda a largo plazo	0.40	0.67	0.67	0.68
Cobertura de Gastos Financieros	0.81	3.08	4.75	0.85

Fuente: Elaboración propia

Las últimas razones financieras que consideramos son las de Rentabilidad, nos sirven para evaluar el desempeño de la empresa, revelan cuan eficiente es la administración de esta en cuanto costos y gastos, así como la capacidad para generar utilidades y la creación de valor para los accionistas, sin requerir aumento de

capital constante. Mientras más alta sea esta razón, mayor rentabilidad plasmará.

Las razones que se contemplaron en este rubro son: Rentabilidad operativa, Rentabilidad financiera, Rendimiento sobre ventas, Retorno Líquido, Capacidad de autofinanciación sobre activos y capacidad de autofinanciación sobre ventas. Tabla 8.

Tabla 8.- Razones Financieras Rentabilidad

RENTABILIDAD	
Rentabilidad Operativa	=Utilidades antes de intereses e impuestos/Activo Total
Rentabilidad Financiera	=Utilidad neta/Capital Contable
Rendimiento sobre ventas	=Utilidad neta/Ventas
Retorno Líquido	=Flujo de caja/Ventas
Capacidad de autofinanciación sobre activo	=(Utilidad Neta+ Depreciación y Amortización)/Activo Total
Capacidad de autofinanciación sobre ventas	=(Utilidad Neta+ Depreciación y Amortización)/Ventas

Fuente: "Fundamentos de Administración Financiera 2002, James C. Van Horne"

Para este grupo de razones financieras la empresa que presenta los mejores indicadores de Rentabilidad es Cleveland-Cliffs Inc Tabla 9.

Tabla 9.- Razones Financieras Rentabilidad Cleveland-Cliffs Inc.

	2020	2019	2018	2017
Cleveland-Cliffs Inc.				
RENTABILIDAD				
Rentabilidad Operativa	- 0.01	0.09	0.16	0.04
Rentabilidad Financiera	- 0.04	0.82	2.66	0.83
Rendimiento sobre ventas	- 0.02	0.15	0.48	0.20
Retorno Líquido	- 0.38	0.32	0.12	0.08
Capacidad de autofinanciación sobre activo	0.01	0.11	0.34	0.15
Capacidad de autofinanciación sobre ventas	0.04	0.19	0.52	0.24

Fuente: Elaboración propia



En el Anexo 1. Se muestra el compendio de los cuatro grupos de razones financieras, así como los resultados de las cuatro empresas de 2017 al 2020.

Seguido del estudio de las razones financieras se analizaron los precios de las acciones de dichas empresas de cinco años atrás, con el objetivo de poder calcular los rendimientos, riesgos, probabilidad de pérdida de cada una de las empresas, así como a nivel portafolio conocer la mejor combinación de inversión.

Los precios de las acciones fueron obtenidos de los datos públicos de la página de Yahoo finanzas para las cuatro empresas, para hacer comparables se analizaron los mismos periodos de tiempo, depurando los días donde no se contaban con datos.

Los primeros indicadores son los rendimientos diarios y anuales. El rendimiento diario se calcula aplicando la fórmula de promedio para los precios de las acciones de cada una de las empresas, mientras que el rendimiento anual es el rendimiento diario x 250 (los días hábiles al año).

En la Tabla 10 se muestra los % de los rendimientos diarios y anuales, siendo la empresa Cleveland Cliffs Inc la que arroja el mayor rendimiento anual con 40.83% seguida por ArcelorMittal con 18.92%.

Tabla 10.- Cálculo de Rendimientos diarios y anuales

TABLA DE RENDIMIENTOS				
	United States Steel Corporation	Cleveland-Cliffs Inc.	ArcelorMittal	Nucor Corporation
DIARIO	0.00067	0.00163	0.00076	0.00074
ANUAL	0.16662	0.40825	0.18923	0.18529
% ANUAL	16.66%	40.83%	18.92%	18.53%

Fuente: Elaboración propia

El segundo indicador es el riesgo accionario diario y anual. El riesgo accionario diario se calcula con la desviación estándar poblacional de los precios de las acciones de cada una de las empresas, mientras que el riesgo accionario anual es el riesgo accionario diario x raíz cuadrada de 250.

En la Tabla 11 se muestra los % del riesgo diario y anuales, siendo la empresa Cleveland Cliffs Inc la empresa con el mayor riesgo accionario con 63.28% seguida por United States Steel Corporation con 61.89%.

Tabla 11.- Cálculo de Riesgo diarios y anuales

TABLA DE RIESGOS ACCIONARIO (DESVIACIONES ESTANDAR O VOLATILIDAD)				
	United States Steel Corporation	Cleveland-Cliffs Inc.	ArcelorMittal	Nucor Corporation
DIARIO	0.03915	0.04002	0.03046	0.02194
ANUAL	0.61895	0.63283	0.48154	0.34691
% ANUAL	61.89%	63.28%	48.15%	34.69%

Fuente: Elaboración propia

El tercer indicador es la probabilidad de pérdida, partiendo del cálculo de $Z = (0 - \text{Rendimiento Anual} - \text{Riesgo Accionario Anual})$ y posteriormente aplicado la distribución normal a la Z. Tabla 12. Arrojando a la empresa con mayor probabilidad de pérdida a United States Steel Corporation con 39.39%, seguida por ArcelorMittal con 34.72%.

Tabla 12.- Cálculo de Probabilidad de Pérdida

TABLA DE PROBABILIDAD DE PÉRDIDA				
	United States Steel Corporation	Cleveland-Cliffs Inc.	ArcelorMittal	Nucor Corporation
Z=	-26.92%	-64.51%	-39.30%	-53.41%
P (z<=0)				
% PROBABILIDAD DE PÉRDIDA	39.39%	25.94%	34.72%	29.66%

Fuente: Elaboración propia

Aterrizando la información anterior en un portafolio de inversión, se asigna para efectos del ejercicio el 100% dividido en partes iguales entre las cuatro empresas, el objetivo es conocer cuál es el mix de inversión hacia las cuatro empresas que nos arroje un rendimiento mayor.

El primer cálculo que se realizó es el rendimiento del portafolio, que se obtiene de la multiplicación de la asignación del 100% entre las cuatro empresas = 25% multiplicado por el rendimiento anual de cada empresa, para posteriormente sumarlo, lo que nos arroja un resultado de 23.73% de rendimiento anual del portafolio. Tabla 13.

Tabla 13.- Cálculo de Rendimiento del Portafolio

RENDIMIENTO DEL PORTAFOLIO				
	United States Steel Corporation	Cleveland-Cliffs Inc.	ArcelorMittal	Nucor Corporation
X= (Asignación del 100%)	25%	25%	25%	25%
RENDIMIENTO ANUAL %	16.66%	40.83%	18.92%	18.53%
X x RENDIMIENTO ANUAL	4.17%	10.21%	4.73%	4.63%
% REND PORTAFOLIO				23.73%

Fuente: Elaboración propia

Con el objetivo de obtener una combinación que maximice los rendimientos y minimice los riesgos del portafolio se calculan a continuación varianzas y covarianzas diarias y anuales Tabla 14 y Tabla 15.

Tabla 14.- Cálculo de Matriz de varianzas y covarianzas de Rendimientos Diarios



MATRIZ DE VARIANZAS Y COVARIANZAS DE RENDIMIENTOS DIARIOS				
	United States Steel Corporation	Cleveland-Cliffs Inc.	ArcelorMittal	Nucor Corporation
United States Steel Corporation	0.001532	0.001085	0.000752	0.000591
Cleveland-Cliffs Inc.	0.001085	0.001602	0.000778	0.000577
ArcelorMittal	0.000752	0.000778	0.000928	0.000467
Nucor Corporation	0.000591	0.000577	0.000467	0.000481

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15.- Cálculo de Matriz de varianzas y covarianzas de Rendimientos Anuales

MATRIZ DE VARIANZAS Y COVARIANZAS DE RENDIMIENTOS ANUALES				
	United States Steel Corporation	Cleveland-Cliffs Inc.	ArcelorMittal	Nucor Corporation
United States Steel Corporation	0.383093	0.271147	0.188084	0.147815
Cleveland-Cliffs Inc.	0.271147	0.400473	0.194524	0.144236
ArcelorMittal	0.188084	0.194524	0.231878	0.116694
Nucor Corporation	0.147815	0.144236	0.116694	0.120348

Fuente: Elaboración propia

Con los datos anteriores utilizamos la herramienta de Excel, Solver, esta herramienta nos arroja la combinación con la mayor maximización de rendimientos.

El resultado con Solver de rendimiento de portafolio es del 38.68% Tabla 16.

Tabla 16.- Cálculo de Matriz de varianzas y covarianzas de Rendimientos Anuales

MATRIZ DE VARIANZAS Y COVARIANZAS DE RENDIMIENTOS ANUALES					
	United States Steel Corporation	Cleveland-Cliffs Inc.	ArcelorMittal	Nucor Corporation	xi
United States Steel Corporation	0.383093	0.271147	0.188084	0.147815	-
Cleveland-Cliffs Inc.	0.271147	0.400473	0.194524	0.144236	0.90
ArcelorMittal	0.188084	0.194524	0.231878	0.116694	-
Nucor Corporation	0.147815	0.144236	0.116694	0.120348	0.10
xi	-	0.903925	-	0.096075	1.000

REND PORTAFOLIO	38.68%
-----------------	--------

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, el Solver te sugiere una combinación de inversión con el 97% a Nucor y 3% de Arcelormittal, con un riesgo de portafolio del 18.54% Tabla 17.

Tabla 17.- Combinación Solver Maximización de rendimiento y minimización de riesgos.

COMPOSICIÓN VARIANZA MÍNIMA			
	xi	RIESGO DEL PORTAFOLIO	s
United States Steel Corporation	-		
Cleveland-Cliffs Inc.	-		
ArcelorMittal	0.03		
Nucor Corporation	0.97		
TOTAL	1.00	18.54%	34.68%

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

Como parte de este trabajo se ha revisado la teoría accionaria y de los portafolios como vehículos para maximizar el rendimiento de las acciones, al menor riesgo posible, como parte de este ejercicio, elegimos cuatro empresas del rubro acerero que cotizan en la bolsa de valores de estados unidos,

Después de analizar las razones financieras podemos concluir que son dos empresas las que presentan mejores indicadores y resultados, siendo estas Cleveland-Cliffs Inc. y Nucor Corporation El diseño del portafolio y la elección de las empresas que lo integran resultó complicado por nuestra falta de experiencia manejando estos procedimientos, sin embargo, el aprendizaje resultado de este ejercicio ha sido significativo para las autoras de este artículo, el aprender sobre la aplicación de formulas para evaluar el rendimiento y el riesgo de nuestro portafolio resultó retador, pero la satisfacción y el crecimiento en nuestro conocimiento al realizar este ejercicio hacen que el esfuerzo haya valido la pena.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- [1] Gary Kozikowski, Z. FINANZAS INTERNACIONALES. (2013). México: McGrawHill. Pág 109-110, 127
- [2] Ffrench-Davis, R.. Macroeconomía, Comercio y Finanzas para Reformar las Reformas en América Latina. (1999) Santiago: McGrawHill.
- [3] Francisco Mochon. Principios de Economía (2006), Madrid : McGRAW-HILL



- [4] Stephen Ross, Finanzas Corporativas (2012). México: McGrawHill.
- [5] Harry Markowitz. New Financial Market Equilibrium results (1989). Pensilvania: Warton School.
- [6] Sergio Bravo Orellana, Evaluación de inversiones (2011), México: Pearson
- [7] Samuel Ortiz Velázquez. La industria del acero en Estados Unidos en la era de Trump (2018). La Jornada Zacatecas.
- [8] Investing.com - Stock Market Quotes & Financial News
- [9] Yahoo. (15 de 12 de 2021). Yahoo Finanzas. Obtenido de <https://es-us.finanzas.yahoo.com/>
- [10] Isabela Cota. (15 de diciembre de 2021). elpais.com. Obtenido de <https://elpais.com/economia/2021-01-19/la-economia-que-deja-trump.html>
- [11] James C. Van Horne, Fundamentos de Administración Financiera (2002), México: Prentice Hall
- [12] José Muñoz, Contabilidad Financiera (2008), México: Pearson
- [13] Case Western Reserve University (15 de 12 de 2021). Encyclopedia of Cleveland History. Obtenido de <https://case.edu/ech/articles/c/cleveland-cliffs-inc>
- [14] U.S. Steel (15 de 12 de 2021). U.S. Steel an Industry Leader from the Start, Obtenido de <https://www.ussteel.com/about-us/overview>
- [15] Arcelormittal (15 de 12 de 2021). Arcelormittal History, Obtenido de <https://corporate.arcelormittal.com/about/culture/history>
- [16] Nucor Corporation (15 de 12 de 2021). Nucor Corporation History, Obtenido de <https://nucor.com/history>

INFORMACIÓN ACADÉMICA

María Petra González Vargas: Ingeniera en Computación egresada de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, Maestra en Dirección de Proyectos egresada de UNITEC, Maestra en Liderazgo Organizacional egresada del IHPG y Doctora en Dirección de Organizaciones egresada de UDF.

Minely Gabriela Robles Rivera: Licenciada en Comunicación visual egresada de la Universidad de la Comunicación, Maestra en Comunicación Organizacional egresada de la UDF, Doctorante de Dirección de Organizaciones en la UDF.

Mónica Muñiz Arzate: Contadora egresada de la Facultad de Contaduría y Administración de la UNAM, Maestra en Finanzas Corporativas egresada de la Facultad de Contaduría y Administración de la UNAM y Doctorante de Dirección de Organizaciones en la UDF.



El papel de las escuelas en el emprendurismo en México, propuesta curricular para la educación secundaria técnica compatible con el nuevo modelo educativo.

Luis Alfredo González Nava, Mónica Muñiz Arzate

RESUMEN

Comúnmente se ha considerado que, teniendo experiencia y preparación en el campo de conocimiento de un oficio o profesión, prácticamente se tiene la capacidad de iniciar en negocio o empresa y salir avante con solo esas herramientas.

Sin embargo, en las escuelas poco se enseña y en algunos casos nada en el campo de conocimiento empresarial o emprendedurismo, a menos que sea una carrera afín a las ciencias administrativas, y mucho menos en las escuelas de educación básica o media superior, por lo que esta falta de conocimiento en uno de los factores que lleva al fracaso a las nuevas PYMES.

A esto se une la falta de recursos para poder contratar asesores calificados, por lo que sería importante hacer una propuesta curricular para subsanar esa situación.

Se debe por otro lado hacer un análisis las teorías educativas para adecuarlo a una propuesta, que pueda ser compatible con el nuevo modelo educativo.

ABSTRACT

It has been commonly considered that, having experience and preparation in the field of knowledge of a trade or profession, one practically has the ability to start a business or company and get ahead with only those tools.

However, little is taught in schools and in some cases nothing in the field of business knowledge, unless it is a career related to administrative sciences, and much less in basic or upper secondary schools, so this lack of knowledge is one of the factors that leads to failure of new SMEs.

Added to this is the lack of resources to be able to hire qualified advisors, so it would be important to make a curricular proposal to remedy this situation.

Palabras claves: Emprendurismo, teorías educativas, modelo educativo y escuelas.

INTRODUCCIÓN

El objetivo de esta investigación es analizar la importancia de una propuesta que añada algunos cursos al currículo que desarrollen la creatividad, el pensamiento estratégico y el conocimiento básico de negocios, así como, la cultura emprendedora en los estudiantes, desde nivel básico, hasta superior.

Las Pymes se caracterizan por ser muy vulnerables al medio ambiente en el que se desenvuelven, sus recursos son limitados, la mayoría carece de estructura formal para su supervivencia y los conocimientos que poseen son limitados, por lo que sería importante dotar de conocimientos a los estudiantes para lograr el crecimiento económico a través del emprendurismo.

Como lo menciona Dolores (s/f): “Es indispensable conocer qué es la disciplina de Emprendimiento y la manera en que debe de estudiarse dentro de economías emergentes, esto para poder profesionalizar desde la educación, hasta el seguimiento que se les debe de dar a los emprendedores. Si bien es cierto que diversos programas de educación y apoyo se han desarrollado tanto a nivel privado como gubernamental en los últimos 15 años en México, aún falta mucho por hacer y conocer. La educación en emprendimiento requiere considerar, mediante investigaciones, quiénes son los emprendedores, cómo toman decisiones y por qué toman ciertas decisiones al momento de emprender.”

Por lo anterior consideramos que se debe crear esa cultura y pensamiento desde la educación básica e irse forjando en todos los niveles.

Como lo menciona Rodríguez et al (2016): “Con fundamento en lo señalado en el Barómetro de Emprendedurismo 2013, realizado por la consultora Ernst & Young, México es clasificado como un país rezagado en materia emprendedora, una de las causas es la falta de educación emprendedora en las escuelas. Sin embargo, para lograr en el país esta visión empresarial, es primordial que la semilla del emprendimiento (por así llamarla) sea sembrada y estimulada en las escuelas, ya que son los centros educativos el punto de partida para formar individuos activos, innovadores y capaces de crear proyectos personales. Si bien es cierto, producir, enseñar y transmitir conocimientos, hoy en día no es asunto

* Doctor Luis Alfredo González Nava Ingeniero en Sistemas UVM, Maestro en Administración UVM, Doctor en Educación UEEM, Doctor en Dirección de Organizaciones UDF

Mtra, Mónica Muñiz Arzate Doctorante en Dirección de Organizaciones. Universidad del Distrito Federal, Unidad de posgrado, monimax@hotmail.com





solo de las instituciones educativas y de unos cuantos, sino de toda una sociedad, desde el sector público hasta el privado, porque si bien, el resultado final de lo que ofrece cada institución, viéndolo desde la perspectiva empresarial, es un producto, que al final será utilizado para el mejoramiento de la calidad económica y social de toda una nación”

Así entonces por lo antes mencionado, es urgente una propuesta que logre coadyuvar a el desarrollo de una cultura emprendedora en México que resulte en el crecimiento económico del país y la maximización de los recursos económicos del mismo.

En esta parte se presentan las definiciones de teoría y aprendizaje, las principales ideas sobre el constructivismo, cognitivismo, colaboracionismo y conectivismo, las definiciones de cada uno, así como la tendencia actual y sus aplicaciones a través de la tecnología y su relación con esta, haciendo un análisis hacia cuál de ellos cobra más congruencia en la educación de hoy en día, cuál de ellos aplicamos o deberíamos aplicar para llegar a los aprendizajes esperados.

CONCEPTOS

Como lo menciona Zapata (s.f.) “Una teoría es un conjunto proposiciones organizadas que están integradas sintáctica y semánticamente y que sirven como medio para predecir y explicar fenómenos observables”.

Una teoría puede ser aplicada cuando en realidad tiene congruencia y viable en el entorno de aprendizaje, en este caso, que se va a utilizar.

Como lo menciona Zapata (s.f.) “El aprendizaje es el proceso o conjunto de procesos a través del cual o de los cuales, se adquieren o se modifican ideas, habilidades, destrezas, conductas o valores, como resultado o con el concurso del estudio, la experiencia, la instrucción, el razonamiento o la observación”.

Una concepción del aprendizaje implica un cambio de conducta duradero y conlleva por otro lado a moral y motivacional.

El Constructivismo, en este enfoque el estudiante no se limita a copiar y reproducir el conocimiento, más bien lo construye a partir de elementos personales, experiencia, creencias, para construir un nuevo significado. Zapata (s.f.)

Aquí uno de los objetivos es que el estudiante aprende a regular su aprendizaje, ser partícipe de ese nuevo constructo, para llegar a la metacognición.

Cambia por lo tanto la función del docente que en este caso sería como un facilitador y un entrenador y no un simple trasmisor de conocimientos.

Por ende, el constructivismo provoca el aprendizaje en coadyuvante al desarrollo evolutivo en las personas.

El Cognitivismo: es definido en un principio como “el aprendizaje como construcción de significado”. Zapata (s.f.), en este sentido se puede concebir como un desarrollo de los procesos mentales que

suele ser espontaneo y continuo y se produce en función de dos variables básicamente, que son maduración y experiencia según Piaget citado por Zapata (s.f.)

Aquí el aprendizaje puede ser visto como un proceso de descubrimiento, se piensa que el aprendizaje es formado por estructuras jerárquicas dentro de las personas.

El Colaboracionismo. (socio constructivismo), en este caso el factor social es el que provoca el desarrollo psicológico, explica el desarrollo psicológico del individuo a partir de factores sociales y educativos, por lo tanto, la cultura como parte del desarrollo social forma parte fundamental del desarrollo cognitivo. Zapata (s.f.)

En este sentido, definir desde este punto de vista al aprendizaje podría decirse que es un cambio constante en el desempeño del individuo o en su potencial que se produce como resultado de las experiencias del alumno y sus interacciones con su entorno. Zapata (s.f.)

Según Zapata (s.f.) “el aprendizaje es un incremento en las ideas duradero y con repercusión en la práctica que se produce como consecuencia de las experiencias del aprendiz, de su madurez o de la interacción con el mundo”. El aprendizaje organizacional cabe en este enfoque y es muestra de él.

El modelo constructivista con las nuevas tecnologías en el proceso de aprendizaje no es nuevo que las TIC están en la prioridad o al menos debe estarlo, de la didáctica utilizada en los últimos tiempos, en apenas año y medio durante la pandemia se incrementó el uso de dispositivos como celulares, tabletas y pc, principalmente para poder tener acceso a la educación, un profesor que prefiere el enfoque constructivista debe incentivar el uso de estas tecnologías en su práctica diaria.

Para un estudiante las TIC, representan la posibilidad de un acceso casi ilimitado de información que puede utilizar para investigar y aprender, además de conectarlo con el mundo real, más allá del aprendizaje en el aula, un aprendizaje sin límites de tiempo y espacio.

Existen múltiples aplicaciones que se pueden utilizar para fomentar el aprendizaje constructivista, incluso algunas especializadas no solo para el aprendizaje significativo, sino incluso especializadas en la materia que se quiere tratar, pero en este caso solo se mencionan tres básicas que se usa de manera general.

Las redes sociales que se pueden utilizar de manera constructivista, con posibilidades de aprendizaje virtual y funciona como extensión del aula, manteniendo comunicados a los miembros del grupo. Hernández (2008).

Las wikis que han transformado la forma en que accedemos a las bibliotecas y enciclopedias, incluso de aquellas que se manejan



digitalmente, permitiéndolos acceder e incluso interactuar y aportar nuestro conocimiento, de esta manera utilizando nuevamente el enfoque constructivista. Hernández (2008).

Los blogs son medio de comunicación colectivos que permiten la interacción del grupo donde se puede compartir información y opiniones y generar un debate, se puede acceder de forma asíncrona, lo que permite que se pueda participar en cualquier momento. Ayudan a desarrollar habilidades de lectura y escritura y por supuesto proporcionan herramienta que fomentan el mejoramiento de la ortografía y semántica, así como la creatividad y la participación de los miembros del grupo. Hernández (2008).

Como lo menciona Hernández (2008) “la conclusión ha sido la demostración de que el aprendizaje es más efectivo cuando están presentes cuatro características fundamentales, que son: compromiso activo, participación en grupo, interacción frecuente, y retroalimentación y conexiones con el contexto del mundo real”

De acuerdo con la anterior definición de teoría, el conductismo, el cognitivismo y el constructivismo, no son teorías si no enfoque teóricos y por otro lado el constructivismo es un enfoque ligado al cognitivismo. Zapata (s.f.)

Considera al aprendizaje como un cambio duradero que es adquirido a partir de las experiencias y de interacción del alumno con otros sujetos. Zapata (s.f.)

Toma un modelo computacional del procesamiento de información o enfoque de teoría de sistemas, es decir, el aprendizaje se analiza como un proceso a la memoria de corto plazo y manipuladas para poder recuperarlas a largo plazo. Zapata (s.f.)

Como lo menciona Zapata (s.f.) “Un principio central de la mayoría de las teorías de aprendizaje es que el aprendizaje ocurre dentro de una persona”

El aprendizaje también según este punto de vista se da en dispositivos no humanos.

Precisamente dentro de las habilidades de hoy en día deben incluir la realización de conexiones entre las personas, dispositivos como desencadenantes de aprendizajes.

Según Zapata (s.f.) “El conectivismo es la integración de principios explorados por las teorías de caos, redes, complejidad y auto-organización” Se basa en la idea de que las decisiones que se toma se basan en principios cambiantes, y eso cambio se dan con rapidez.

Lo plantea Zapata (s.f.) “El conectivismo es orientado por la comprensión que las decisiones están basadas en principios que cambian rápidamente. Continuamente se está adquiriendo nueva información”. Uno de los principios básicos de este enfoque es que el conocimiento puede estar contenido o almacenado en

dispositivos electrónicos y por otro lado el individuo debe estar capacitado para poder utilizar esa información. Zapata (s.f.)

Debido a que según el rigor científico el colectivismo no se puede considerar teoría, es considerado como un punto de vista pedagógico. Zapata (s.f.)

El nuevo modelo educativo, en el modelo propuesto, que aunque todavía estas en revisión, solo se encuentran dos elementos en el perfil de egreso que podrían caer en la propuesta que vamos a hacer, el primero como lo menciona la S.E.P (2022):

“VIII. Interactúan en procesos de diálogo con respeto y aprecio a la diversidad de capacidades, características, condiciones, necesidades, intereses y visiones al trabajar de manera cooperativa. Son capaces de aprender a su ritmo y respetar el de las demás personas, adquieren nuevas capacidades, construyen nuevas relaciones y asumen roles distintos en un proceso de constante cambio para emprender proyectos personales y colectivos dentro de un mundo en rápida transformación.”

“X. Desarrollan el pensamiento crítico que les permita valorar los conocimientos y saberes de las ciencias y humanidades, reconociendo la importancia que tienen la historia y la cultura para examinar críticamente sus propias ideas y el valor de los puntos de vista de las y los demás como elementos centrales para proponer transformaciones en su comunidad desde una perspectiva solidaria.

Fuera de estos puntos no existe en el programa el desarrollo del emprendedurismo en todo el programa, ni de la creatividad o el pensamiento crítico.

Aquí mostramos la estructura curricular.



Cuadro 1. Estructura Curricular S.E.P. Plan de estudios (2022, pag 102)

En la propuesta curricular tampoco se observa alguna asignatura que tenga los contenidos necesarios para poder considerar a este nuevo plan como innovador y pertinente conforme a la propuesta que vamos a hacer.

Periodos lectivos ***

FASE 6: SECUNDARIA. JORNADA REGULAR							
CAMPOS FORMATIVOS	ESPECIALISTA	PERIODOS LECTIVOS ANUALES POR GRADO			PERIODOS LECTIVOS SEMANALES POR GRADO		
		Primero	Segundo	Tercero	Primero	Segundo	Tercero
Lenguajes	Docente de Español	200	200	200	5	5	5
	Docente de Inglés	120	120	120	3	3	3
	Docente de Artes	120	120	120	3	3	3
Saberes y Pensamiento Científico	Docente de Matemáticas	200	200	200	5	5	5
	Docente de Biología	80	80	80	2	2	2
	Docente de Física	80	80	80	2	2	2
Ética, Naturaleza y Sociedades	Docente de Química	80	80	80	2	2	2
	Docente de Geografía	80	80	80	2	2	2
	Docente de Historia	120	120	120	3	3	3
De lo Humano y lo Comunitario	Docente de Formación Cívica y Ética	120	120	120	3	3	3
	Docente de Tecnología*	80	80	80	2	2	2
	Docente de Educación Física	80	80	80	2	2	2
	Docente de Educación Socioemocional/Tutoría	40	40	40	1	1	1
Total		1400	1400	1400	35	35	35

** Es necesario considerar que las y los docentes de Educación Física imparten sus horas asignadas dentro del campo formativo *De lo humano y lo Comunitario*.

***Para Secundarias Técnicas el tiempo es de al menos, 7 periodos activos.

Cuadro 2. Estructura Curricular S.E.P. Plan de estudios (2022, pag 163)

PROPUESTA

En las escuelas secundarias técnicas se manejan doce materias por grado en el currículo, una de ellas por demás importante que se mantiene con el paso del tiempo es la materia de Tecnología, que es la que tiene más horas por semana con un total de 8 de las 40.

En esa materia se podría introducir en el programa de estudio una materia que se llamaría desarrollo de la creatividad y pensamiento estratégico, para primer grado, desarrollo empresarial, para segundo y emprendedurismo, para tercer grado, con una hora por semana.

El curso Desarrollo de la creatividad y el pensamiento estratégico está dividido en tres bloques de doce sesiones de una hora cada una.

Bloque uno: 1. ¿Qué es la creatividad? 2. ¿Cómo potenciar la creatividad? 3. ¿Cuáles son las ventajas de la creatividad? 4. ¿Cómo se estimula la creatividad?

Bloque dos: 1. ¿Qué es creatividad y cómo se desarrolla? 2. ¿Cómo se produce el desarrollo de la creatividad? 3. ¿Cómo se desarrolla la creatividad ejemplos?

Bloque tres: 1. ¿Qué es el pensamiento estratégico y ejemplos? 2. ¿Qué es el pensamiento estratégico y porque es importante? 3. ¿Cuáles son las 3 fases del pensamiento estratégico? 4. ¿Cuándo





surge el concepto del pensamiento estratégico? 5. ¿Cuándo surge el concepto de pensamiento estratégico?

El curso Desarrollo de empresarial está dividido en tres bloques de doce sesiones de una hora cada una.

Bloque uno: Creación de una empresa: 1. ¿Cómo iniciar una empresa? 2. ¿Cómo hacer más, con menos? 3. ¿Recursos operativos y financieros? 4. ¿Cómo hacer mi negocio redituable?

Bloque dos: Dominio del tiempo: 1. El tiempo como inversión 2. ¿Cómo invertir mi tiempo de manera más redituable? 3. Identifica y elimina tus “ladrones de tiempo” 4. Prácticas positivas para lograr la eficacia personal.

Bloque tres: Sistematización de tu negocio: 1. Estructurando tu negocio 2. Cuatro áreas base del negocio a sistematizar: Ventas, Administración, Producción 3. Uso de las TICS en la sistematización de mi negocio 4. Sistematización en el aprendizaje para hacer rentable mi negocio. 5. Utilizando el poder de venta de las herramientas tecnológicas 6. Estrategias para redes sociales.

El curso Emprendedurismo, está dividido en tres bloques de doce sesiones de una hora cada una.

Bloque uno: Fundamentos del emprendimiento: 1. ¿Por qué se debe de enseñar a emprender? 2. Objetivos del emprendimiento y visión empresarial. 3. Mitos del emprendimiento. 4. Procesos de innovación y gestión empresarial. 5. Generación de ideas.

Bloque dos: Entendiendo las necesidades del cliente (sociedad): 1. Estudio de mercado. 2. El cliente, aspectos conceptuales y metodológicos. 3. Segmentación del mercado. 4. Análisis de necesidades.

Bloque tres: Diseño de la propuesta de negocio. 1. Análisis de la competencia y competitividad. 2. Como redactar el modelo de negocio. 3. Desarrollo y prueba del producto. 4. Principios básicos de administración empresarial. 5. Innovar en el proyecto emprendedor.

Después del análisis de los enfoques pedagógicos y analizar también las críticas al conectivismo, sigo pensando que el constructivismo y sus diferentes variantes por mencionarlas así, es el enfoque que más se adapta o comulga con mi forma de pensar y mi práctica docente, el involucrar al estudiante para lograr que construya su propio aprendizaje y que tenga posibilidades de llegar a la meta cognición y hacerse responsable de su propio aprendizaje, pero sin dudarlo es imprescindible incluir de manera importante las TIC, el correcto uso de ella, dar un buen acompañamiento en este sentido, ya que son parte medular de las estrategias a desarrollar dentro de este enfoque.

De acuerdo con esta propuesta se puede mejorar tanto el desarrollo de la creatividad y el pensamiento estratégico, así como la cultura emprendedora desde temprana edad en los estudiantes.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

González Saucedo María de los Dolores. Retos de las ciencias administrativas desde las economías emergentes: Evolución de sociedades. El estudio del emprendimiento en México. Tecnológico de Monterrey (ITESM) Monterrey, Nuevo León. México. Email:dolores@itesm.mx

Hernández, S. (2008). El modelo constructivista con las nuevas tecnologías: aplicado en el proceso de aprendizaje. Revista de Universidad y Sociedad del Conocimiento. Recuperado de <http://www.uoc.edu/rusc/5/2/dt/esp/hernandez.pdf>

Rodríguez-Aguilar R a., García-Rojas J a. EMPRENDEDURISMO DENTRO DE LAS AULAS EDUCATIVAS EN MÉXICO Y LOS MECANISMOS PARA POTENCIALIZARLO, Instituto Tecnológico Superior del Occidente del Estado de Hidalgo. Ingeniería en Gestión Empresarial. Mixquiahuala de Juárez, Hgo. CP 42700. aiko_rak@hotmail.com

<https://metaconsultec.com/capacitacion/desarrollo-empresarial>

<https://edutin.com/curso-de-emprendimiento-4214>

Secretaría de Educación Pública. Plan de Estudios educación básica 2022. S.E.P, CDMX

Zapata-Ros, M. (s.f.). Teorías y modelos sobre el aprendizaje en entornos conectados y ubicuos. Recuperado de http://eprints.rclis.org/17463/1/bases_teoricas.pdf

INFORMACIÓN ACADÉMICA

CONCLUSIONES





Luis Alfredo González Nava: Ingeniero en Sistemas UVM,
Maestro en Administración UVM, Doctor en Educación UEEM,
Doctor en Dirección de Organizaciones UDF.

Mónica Muñiz Arzate: Contadora egresada de la Facultad de
Contaduría y Administración de la UNAM, Maestra en Finanzas
Corporativas egresada de la Facultad de Contaduría y
Administración de la UNAM y Doctorante de Dirección de
Organizaciones en la Universidad del Distrito Federal.





Análisis estadístico de saldos a favor de IVA y su impacto a empresas del sector de alimentos con alta densidad calórica

Alfredo Aldana Sanchez, Pedro Olivera Figueroa, Mónica Muñiz Arzate *

RESUMEN

Uno de los problemas que enfrentan las empresas del sector de alimentos ha sido el obtener la devolución de sus saldos a favor de IVA generados, lo anterior se debe en gran medida a la eliminación de la compensación universal y a la integración de información solicitada por la autoridad. De esta forma se tiene por objetivo analizar las devoluciones de saldo a favor de IVA de los últimos 6 años, con el fin de visualizar su incremento en los últimos años.

Es una investigación de tipo documental de carácter descriptivo, a través, de la cual se estudian las devoluciones de saldo a favor de IVA en México, se compulsa con el importe recaudado del impuesto IEPS de alimentos no básicos con alta densidad calórica. Con respecto a los resultados se observa que el importe devuelto a los contribuyentes va en aumentado al igual que la recaudación del impuesto IEPS de alimentos no básicos con alta densidad calórica, de esta forma se visualiza que la eliminación de la compensación universal obligo a solicitar la devolución de IVA a la autoridad y a su vez incremento la recaudación del impuesto IEPS por alimentos con alta densidad calórica, colateralmente se refleja una mayor carga administrativa para el contribuyente y la autoridad recaudadora.

ABSTRACT

A problem faced by companies in the food sector has been to obtain the refund of their IVA balances generated, this is largely due to the elimination of universal compensation and the integration of information requested by the authority. The objective is to analyze the refunds of balance in favor of IVA of the last 6 years, in order to visualize its increase in recent years.

It is documentary research of a descriptive nature, through which the refunds of balance in favor of IVA in Mexico are studied, it is verified with the amount collected from the IEPS tax of non-basic foods with high caloric density.

With respect to the results it is observed that the amount returned to taxpayers is increasing as well as the collection of the IEPS tax on non-basic foods with high caloric density, in this way it is visualized that the elimination of the universal compensation forced to request the refund of IVA to the authority and in turn increased the collection of the IEPS tax for foods with high caloric density, collaterally, a greater administrative burden is reflected for the taxpayer and the collecting authority.

Palabras claves: Devoluciones, IVA, Compensación, IEPS, Alimentos

INTRODUCCIÓN

El último cambio de poder presidencial ha traído consigo una serie de modificaciones en materia fiscal, a la fecha se observa que el gobierno en turno ha enfocado su fuerza recaudatoria en la cancelación de sellos y seguimiento de empresas dedicadas a la emisión de facturas de operaciones simuladas, inexistente o ficticias. De igual manera genero modificaciones fiscales contenidas en el artículo 25 Fr. IV de la ley de ingresos de la federación, donde suspende la compensación universal prevista en el artículo 23 del CFF.

Al suspender la compensación universal, el contribuyente tiene la obligación de cumplir con el pago de los impuestos al órgano recaudatorio del estado, para extinguir las obligaciones, Borja clasifica tres categorías, la primer categoría está formada únicamente por el pago, la segunda categoría comprende: a) la novación, que implica el reemplazo o renegociación de la obligación, b) la dación de pago, donde el acreedor recibe un objeto diferente al contractual y c) la compensación cuando dos personas reúnen la calidad de deudores y acreedores y por ministro de ley se extinguen las dos obligaciones hasta la cantidad que represente la deuda menor, la tercer categoría considera la extinción de la obligación sin que el acreedor tenga satisfacción total de su derecho.

* Mtro. Alfredo Aldana Sanchez es Profesor de Asignatura de Universidad Nacional Autónoma de México FES Cuautitlán. as_alfredo24@hotmail.com

Mtro. Pedro Felipe Olivera Figueroa es Profesor de Asignatura de Universidad Nacional Autónoma de México FES Cuautitlán. peterof26@hotmail.com.

Mtra. Mónica Muñiz Arzate Doctorante en Dirección de Organizaciones. Universidad del Distrito Federal, Unidad de posgrado, monimax@hotmail.com



DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

Es una investigación de tipo documental de carácter descriptivo, a través de la cual, se estudia la devolución del impuesto al valor agregado de empresas del sector alimentos en México, se compulsa el importe de devoluciones pagadas por la autoridad contra el importe recaudado por la autoridad por impuesto IEPS de alimentos no básicos con alta densidad calórica. De esta forma, se analizan las estadísticas de devoluciones del impuesto al valor agregado pagados y la recaudación del impuesto IEPS de alimentos no básicos con alta densidad calórica. Por lo tanto, se hace una descripción tanto cualitativa como cuantitativa de la Ley del Impuesto al Valor Agregado y los saldos a favor de IVA devueltos al contribuyente, a fin de analizar el compartimento de devoluciones pagadas por la autoridad tributaria en México.

Con respecto al análisis documental, las principales fuentes de información son artículos de investigación publicados en revistas especializadas, Ley y reglamento del Impuesto al Valor Agregado, libros especializados en materia de IVA. En cuanto al análisis cuantitativo, las principales fuentes de información son las estadísticas de devoluciones publicadas por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público y el Servicio de Administración Tributario de México. Por lo tanto, será posible analizar las devoluciones del impuesto al valor agregado de los últimos seis años.

CONSULTA Y ANÁLISIS DE LA BIBLIOGRAFÍA

Hasta 2018 las leyes fiscales contemplaban la compensación universal en los siguientes artículos.

Compensación universal hasta 2018

Artículo 22 CFF.

- Compensar las cantidades que tengan a su favor contra las que estén obligados a pagar por adeudo propio o por retención a terceros
- Ambas deriven de impuestos federales distintos de los que se causen con motivo de la importación
- Los administre la misma autoridad y no tengan destino específico, incluyendo sus accesorios
- Los contribuyentes presentarán el aviso de compensación, dentro de los cinco días siguientes a aquél en el que la misma se haya efectuado

Artículo 6 LIVA

Cuando en la declaración de pago resulte saldo a favor, el contribuyente podrá:

- Acreditarlo contra el impuesto a su cargo que le corresponda en los meses siguientes hasta agotarlo
- Solicitar su devolución o llevar a cabo su compensación contra otros impuestos en los términos del Artículo 23 del Código Fiscal de la Federación

Compensación Universal 2019

En 2019 mediante ley de ingresos de la federación elimina la compensación universal, y solo permite la compensación siempre que el impuesto causado y el impuesto con saldo a favor sea el mismo, desde mi punto de vista lo llamara un acreditamiento.

Artículo 25 FR VI LIF.

Para los efectos de lo dispuesto en los Artículos 23, primer párrafo, del CFF y 6o., primer y segundo párrafos, de la LIVA

- Los contribuyentes obligados a pagar mediante declaración únicamente podrán optar por compensar las cantidades que tengan a su favor contra las que estén obligadas a pagar por adeudo propio, siempre que ambas deriven de un mismo impuesto, incluyendo sus accesorios.
- Tratándose del IVA, cuando en la declaración de pago resulte saldo a favor, el contribuyente únicamente podrá acreditarlo contra el impuesto a su cargo que le corresponda en los meses siguientes hasta agotarlo o solicitar su devolución.

Mediante Regla de Resolución de Miscelánea Fiscal, Regla 2.3.10. Se permite la compensación de cantidades a favor generadas hasta el 31 de diciembre de 2018, es decir, se tiene hasta el año 2023 para compensar los saldos a favor de IVA generados hasta 2018, en caso de no compensar, se tendrían que solicitar en devolución, es importante considerar que la compensación y los saldos a favor de IVA prescriben en un lapso de 5 años, lo anterior con fundamento en el artículo 22, 23 y 146 del CFF.

Para los efectos de los artículos 23, primer párrafo del CFF, 6, primer párrafo de la Ley del IVA, 5, tercer párrafo de la Ley del IEPS, los contribuyentes obligados a pagar mediante declaración que tengan cantidades a su favor generadas al 31 de diciembre de 2018 y sean declaradas de conformidad con las disposiciones fiscales, que no se hubieran compensado o solicitado su devolución, podrán optar por compensar dichas cantidades contra las que estén obligados a pagar por adeudo propio, siempre que deriven de impuestos federales distintos de los que causen con motivo de la importación, los administre la misma autoridad y no tengan destino específico, incluyendo sus accesorios.

La compensación universal esta por caducar y prende de reglas que limitan la compensación universal a los saldos a favor acumulados hasta diciembre de 2018, derivado de las modificaciones establecidas en la ley de ingresos de la federación para el ejercicio 2019 se elimina la compensación de saldos a favor con otros impuestos federales limitando a los contribuyentes a optar por el acreditamiento entre el mismo impuesto y/o solicitudes de devolución de impuestos a favor.

La industria de los alimentos gravados a una tasa de 0% de IVA usualmente generan saldos a favor de IVA, dichos saldos a favor se compensaban contra IEPS de alimentos no básicos con alta densidad calórica, al eliminar la compensación universal, el sector



del giro de alimentos no básicos con alta densidad calórica se ve obligado a pagar efectivamente el impuesto causado IEPS, si el contribuyente tarda en solicitar los saldos a favor de IVA que genera podrá tener problemas de flujo de efectivo ya que deberá pagar el IEPS causado en el periodo y tendrá una cuenta de saldos a favor de IVA en crecimiento, la cual solo disminuirá solicitando la devolución de IVA o acreditando con el mismo impuesto, no obstante este último es inusual cuando la enajenación grava a tasa del 0% de IVA, en los peores escenarios perder el saldo a favor de IVA si este prescribe.

La autoridad por su parte ha presupuestado en la ley de ingresos de la federación un incremento en la recaudación de Impuestos especiales sobre productos y servicios en alimentos con alta densidad calórica, de tal manera, que para el ejercicio 2023 pretende incrementar la recaudación en un 18.23%.

Las devoluciones de IVA que la autoridad a reintegrado también muestra un crecimiento constante en los últimos ejercicios, lo cual demuestra que al eliminar la compensación universal el contribuyente está obligado a solicitar su devolución, a partir del 2019 los contribuyentes debieron iniciar a solicitar sus devoluciones de IVA, en el grafico 2 se muestra como el incremento de devoluciones que ha pagado la autoridad se mantiene en crecimiento, en el ejercicio 2022 la autoridad devolvió un 25.17% más que el ejercicio 2021.

Es indispensable iniciar a trabajar la información del día a día con los requisitos y especificaciones que sean necesarios para dar cumplimiento a la autoridad, generar cambios en los procesos y áreas de la empresa siempre es complicado, sin embargo, los resultados se verán reflejados en flujos de efectivo, el no realizar estos cambios puede afectar las finanzas de la empresa al pagar IEPS y tener pendientes por solicitar los saldos a favor de IVA.

RESULTADOS

En la tabla 1, se puede observar que en el año 2021 y 2022, la recaudación del impuesto IEPS por alimentos con alta densidad calórica incrementó de 21% y 18%. El porcentaje recaudado en 2022 disminuye en un 3% respecto al ejercicio 2021, sin embargo, el importe recaudado en el año 2022 es superior al de los últimos 5 años, lo cual implica que el importe recaudado se ha incrementado en los últimos tres años.

Tabla 1
Recaudación IEPS alimentos no básicos con alta densidad calórica 2017-2022

Año	IEPS Alimentos no básicos con alta densidad calórica (Millones de pesos)	Variación %
2017	\$18,339.36	0.00%
2018	\$23,112.01	26.02%
2019	\$21,422.15	-7.31%
2020	\$21,049.42	-1.74%
2021	\$25,590.18	21.57%
2022	\$30,333.38	18.54%

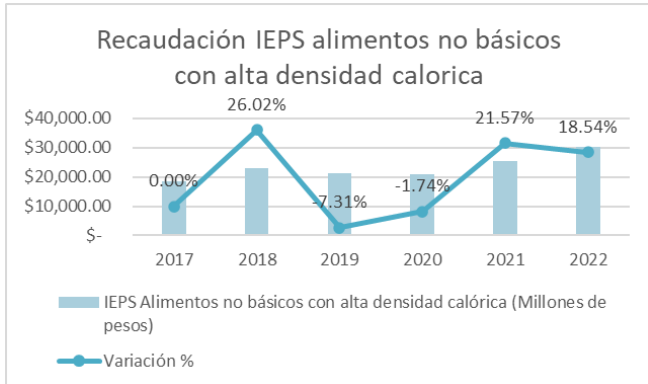
Nota. Esta tabla muestra la recaudación por ingresos tributarios del Gobierno Federal por Impuesto Especial Sobre Productos y Servicios. Fuente: cálculos propios con datos de la Secretaria de Hacienda y Crédito Público. Servicio de Administración Tributaria (2023).

En la tabla 1, se muestra una disminución de 9-05% en los años 2019 y 2020 respecto la recaudación del ejercicio 2018, en el ejercicio 2019 disminuyó un 7.31% respecto 2018 y para 2020 disminuyó un 1.74% respecto 2019, la disminución coincide con la eliminación de la compensación universal, debido a que solo se podían compensar saldos a favor generados hasta 2018 los contribuyentes del giro de alimentos con alta densidad calórica aplicaron los saldos de sus impuestos a favor del ejercicio 2018.

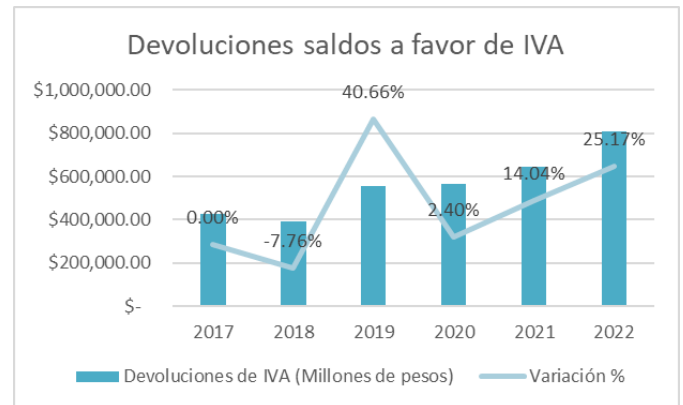
Para 2021 la recaudación de este impuesto tiene un repunte de 21.57% superando la recaudación mostrada en el ejercicio 2018, para el ejercicio 2018 muestra un incremento de recaudación y un crecimiento de 18.54% respecto 2022, dichos crecimientos reflejan que los contribuyentes terminaron de compensar los saldos a favor generados hasta el 31 de diciembre de 2018 y por consiguiente los saldos a favor generados a partir de enero 2019 deben solicitarlos, por lo tanto, el contribuyente inicio a pagar IEPS alimentos no básicos con alta densidad calórica al no tener saldos a favor que compensar.

La figura 1 muestra la variación de recaudación en millones de pesos del año 2017 al 2022. Mostrando su mejor recaudación en el ejercicio fiscal 2018, para los dos ejercicios subsecuentes se muestra una disminución en la recaudación, este efecto es el resultado de la eliminación de la compensación universal, para los ejercicios 2021 y 2022 la recaudación incrementa, toda vez que, los contribuyentes no tienen mas saldos que compensar se ven obligados a pagar el impuesto.

Figura 1.
Recaudación IEPS alimentos no básicos con alta densidad calórica.



Nota. Esta figura muestra los importes recaudados por Impuesto Especial Sobre Productos y Servicios en millones de pesos. Fuente: Tabla 1.



Nota. Esta figura muestra los importes en millones de pesos devueltos por la autoridad fiscal SAT. Fuente: Tabla 2.

En la tabla 2 se muestra como la eliminación de la compensación universal incrementa las solicitudes de devolución de IVA de manera notable en el año 2019 con un importe recaudado de \$553,980.74 superior al de los últimos años y un crecimiento de 40.66%, lo cual refleja que los contribuyentes están iniciando a solicitar las devoluciones de IVA al no poder compensar contra IEPS alimentos no básicos con alta densidad calórica, a partir del ejercicio 2019 se muestra una tendencia en crecimiento constante, el crecimiento mínimo es en el ejercicio 2020, no obstante, para el ejercicio 2022 el crecimiento fue de un 25.71%

Tabla 2.
Devoluciones de IVA 2017-2022

Año	Devoluciones de IVA (Millones de pesos)	Variación %
2017	\$426,964.55	0.00%
2018	\$393,849.57	-7.76%
2019	\$553,980.74	40.66%
2020	\$567,280.21	2.40%
2021	\$646,913.38	14.04%
2022	\$809,760.76	25.17%

Nota. Esta tabla muestra las devoluciones por Impuesto al Valor Agregado en millones de pesos. Fuente: cálculos propios con datos de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público. Servicio de Administración Tributaria (2023).

En la figura 2. Devoluciones de saldo a favor de IVA se muestra una disminución en el ejercicio 2018 del 7.76% respecto del ejercicio 2017, no obstante, a partir del ejercicio 2019 la autoridad devolvió 40.66% más respecto del ejercicio 2018 a partir de 2019 se muestra una constante con crecimiento en devoluciones de saldos a favor de IVA devueltos por la autoridad llegando a devolver un máximo de \$809,760.76 millones de pesos en el ejercicio 2022.

Figura 2.
Devoluciones saldos a favor de IVA

CONCLUSIONES

La eliminación de la compensación universal refleja sus efectos notables en el último ejercicio otorgando 25.17% más de devoluciones y a su vez recaudando 18.54% más de IEPS, es importante aclarar que solo se considera IEPS es necesario analizar el incremento de recaudación en otros impuestos. No existirá más compensación universal es por ello que es necesario solicitar los saldos a favor de IVA, al presentar una devolución de saldo a favor de IVA a la autoridad, representa entregar información específica y concreta que muestre procesos, identifique la operación de la empresa, justifique inversiones y adquisiciones de materiales y/o servicios, demuestre el uso y beneficio de los gastos por los que se obtiene saldos a favor, se compruebe que existe capital humano que ejecuta las operaciones, demostrando que existen contratos laborales, pago de contribuciones y nominas, no obstante, los saldos a favor de IVA generados por empresas del sector de alimentos no básicos con alta densidad calórica deben adaptar su forma de trabajo que dé cumplimiento a los requerimientos de la autoridad para disminuir el tiempo que la autoridad tarda en devolver los saldos a favor de IVA.

Por lo tanto, es indispensable considerar tres elementos el factor previsión de la información, es decir, trabajar la información como la autoridad la requiera, desde el momento en que se determina el saldo a favor. Segundo, control y planeación de tiempos, calendarizar los días y establecer fechas límites de contestación de requerimientos esto ayudara a tener fechas estipuladas de contestación, notificaciones y pagos de la devolución. Tercero herramientas, contar con equipos de cómputo y sistemas suficientes para trabajar la información, esto es variable dependiendo de la magnitud de la empresa y sus bases de trabajo, es posible que el costo por anticipar la información, controlar los tiempos y allegarse de herramientas suficientes representen costos que los contribuyentes no consideran, sin embargo, el mejorar estos tres elementos facilitara y agilizará las devoluciones de saldo a favor de IVA



REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- Lauro Vinício de Almeida Lima, Orleans Silva Martis, Márcia Reis Machado. (2020), Relación entre el impuesto sobre el valor agregado y el crecimiento de las empresas. Contaduría y Administración. Vol. 65, No. 3, pp 1-24.
- Guevara Garzón, Catherine Ninoska, Rafael. (2019), La influencia de las devoluciones de IVA en el capital de trabajo para productores de huevo en Sabana Centro. Espirales revista multidisciplinaria de investigación científica. Vol. 3, No. 30.
- Delgado García, Ana María; Oliver Cuello, Rafael. (2015), Nueva regulación del IVA en el comercio electrónico. IDP. Revista de Internet, Derecho y Política, No. 20, pp 108-120.
- Ramírez Cedillo, Eduardo. (2013), La Generalización del Impuesto al Valor Agregado: ¿Una opción para México? Revista Mexicana de Ciencias Políticas y Sociales, Vol. LVIII, No. 219, pp 75-101.
- Fuentes Castro, Hugo Javier; Zamudio Carrillo, Andrés. (2011), IVA: ¿Qué sucede si los bienes y servicios a tasa 0% se cambian a exentos?. Análisis Económico, Vol. XXVI, No. 61, pp 199-210.
- García-Alba Iduñate, Pascual. (2006), La estructura del IVA en México. Análisis Económico, Vol. XXI, No. 48, pp 121-138.
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público. Servicio de Administración Tributaria (2023). Devoluciones por tipo de impuesto. Obtenido de: http://omawww.sat.gob.mx/cifras_sat/Paginas/datos/vinculo.html?page=giiodeImpu.html
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público. Servicio de Administración Tributaria (2023). Recaudación Ingresos tributarios del Gobierno Federal. Obtenido de: http://omawww.sat.gob.mx/cifras_sat/Paginas/datos/vinculo.html?page=IngresosTributarios.html

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Mtro. Alfredo Aldana Sanchez: Profesor de Asignatura de Universidad Nacional Autónoma de México FES Cuautitlán. Catedrático de las materias: Estudio Fiscal de las Personas Morales, Costos Estándar y Costeo Directo, Auditoría Internacional y Auditoría a instituciones financieras, en la Universidad Nacional Autónoma de México FESC-4. Se desempeña en el área fiscal en empresas del sector alimentos. Director General y socio fundador de la sociedad Bilanx Aldana y Mendoza S.C.

Mtro. Pedro Felipe Olivera Figueroa: Profesor de Asignatura de Universidad Nacional Autónoma de México FES Cuautitlán. Ha sido coordinador de la carrera en Contaduría de la FESC, del diplomado “Finanzas aplicadas a las inversiones bursátiles”, “Contribuciones Fiscales” y de la Licenciatura en Informática, Evaluador de programas académicos por parte del Consejo de Acreditación en la Enseñanza de la Contaduría y Administración (CACECA). Director del Jardín de Niños “El Rosario”, fundador de la empresa “Instituto Educativo OLIJIM A.C.” y “ARO Servicio de Asesoramiento S.C.”; y es Socio en el Colegio de Contadores Públicos.

Mónica Muñiz Arzate: Contadora egresada de la Facultad de Contaduría y Administración de la UNAM, Maestra en Finanzas Corporativas egresada de la Facultad de Contaduría y Administración de la UNAM y Doctorante de Dirección de Organizaciones en la Universidad del Distrito Federal.

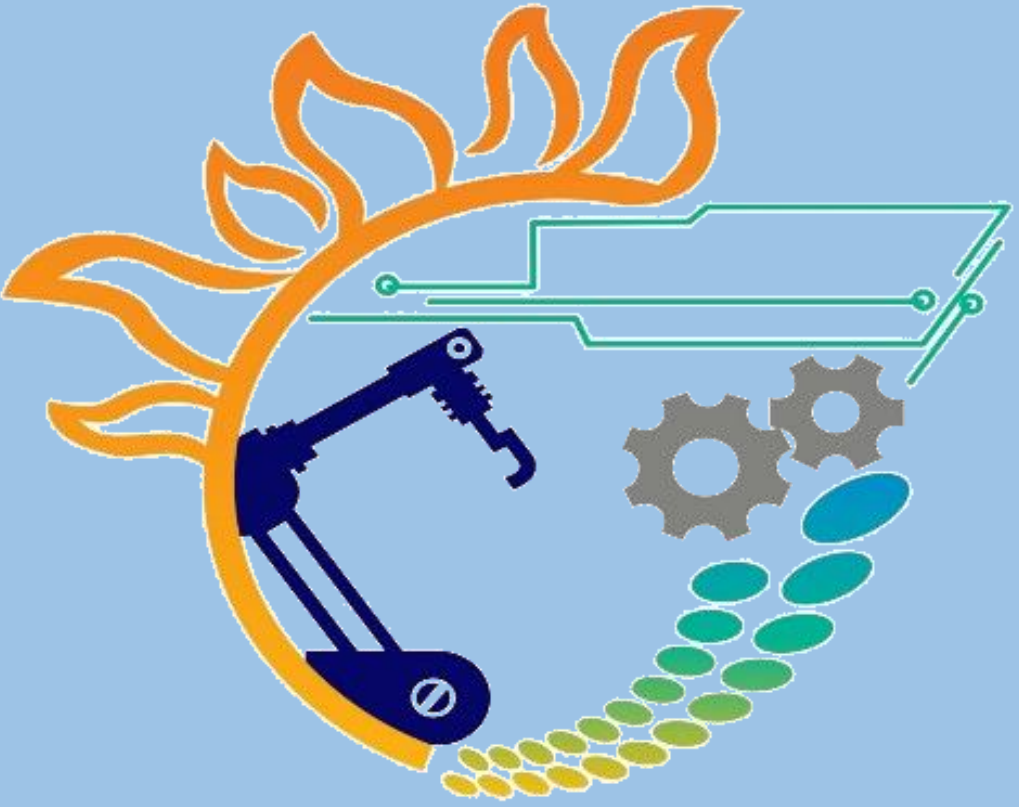
AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Dr. David Quintanar Guerrero, director de la FES Cuautitlán, por brindar su apoyo para la realización del Congreso Científico Tecnológico de las carreras de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Industrial y Telecomunicaciones, sistemas y electrónica, así como la gestión de los trámites para la edición de la publicación electrónica.

Se agradece el apoyo al grupo de alumnos y profesores que participaron en la realización del evento.

Evento organizado con el apoyo del Programa UNAM-DGAPA-PAPIME PE100222

[REGRESAR AL CONTENIDO](#)



2025