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

AÑO 4. No. 4. ISSN-2448-7236. SEPTIEMBRE 2019 – AGOSTO 2020. IF-03, pág.: 1 a la 5.

Diseño de un vehículo auto dirigido utilizando un sistema difuso basado en Matlab

José Francisco Rojano Jaramillo**, Fernando Gudiño Peñaloza**, David Tinoco Varela*

RESUMEN

Existen diversas aplicaciones en las cuales es necesario que un vehículo genere sus movimientos de una forma autónoma, aplicaciones que van desde sistemas que puedan salir de un laberinto sin necesidad de estar tocando los muros, hasta sistemas más complejos que pueden ser utilizados como vehículos de rescate o de exploración.

Generalmente, este tipo de vehículos se programan en forma de condicional-respuesta, es decir, si se presenta una situación definida, se obtiene una respuesta definida. Este tipo de estructura provoca un funcionamiento no natural y rígido, y puede provocar malfuncionamiento al encontrarse en una situación no definida en su software.

En este proyecto, proponemos un vehículo autónomo, auto controlado de forma inteligente mediante un controlador difuso realizado por medio de *Fuzzy logic toolbox* de Matlab. El vehículo propuesto, identifica las características del entorno, los obstáculos y los ángulos en los cuales se encuentra el obstáculo, y en base a esos datos, decide cual es la mejor dirección a seguir, y el ángulo apropiado que debe girar para poder fluir en la dirección calculada. Este sistema tiene la particularidad, que su movimiento se presenta de forma natural, es decir, puede girar en cualquier dirección y en cualquier ángulo dependiendo de las variables de entrada. Todo diseñado con elementos de bajo costo económico.

EL controlador difuso generado en este proyecto puede ser implementado en cualquier sistema móvil que necesite desplazarse con autonomía, lo que le proporciona dinamismo a nuestra propuesta.

ABSTRACT

There are several applications in which it is necessary for a vehicle to generate its movements in an autonomous way, applications ranging from systems that solve a maze without having to touch the walls, to more complex systems that can be used as rescue or exploration vehicles.

Generally, this type of vehicle is programmed in the form of conditional-response, that is, if a defined situation is presented, a defined response is obtained. This type of structure causes a non-natural and rigid operation, and can cause malfunction when being in an undefined situation in the software.

In this project, we propose an autonomous, self-controlled vehicle in an intelligent way by means of a fuzzy controller, developed by means of Fuzzy logic toolbox from Matlab. The proposed vehicle identifies the characteristics of the environment, the obstacles and the angles in which the obstacle is located, and based on such data, decides which is the best direction to follow, and the appropriate angle that must be rotated in order to flow in the calculated address. This system has the particularity that its movement occurs naturally, that is, it can rotate in any direction and at any angle depending on the input variables. Designed with elements of low economic cost.

The fuzzy controller generated in this project can be implemented in any mobile system that needs to move autonomously, which gives dynamism to our proposal.

Palabras claves: Controlador difuso, Arduino UNO, sistemas inteligentes, control inteligente, lógica difusa.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, con la llegada de esquemas de comunicación como el Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés) [1] se busca que prácticamente cualquier dispositivo tecnológico pueda tener un grado de autonomía y pueda interactuar directamente con su entorno por medio de sensores. Esto ha dado paso también a la idea de ciudades inteligentes [2], donde cada edificio, vehículo y elemento que lo compongan deben tener la capacidad de interactuar con su entorno y transmitir la información recibida. En este sentido, se busca generar vehículos que puedan ser auto dirigidos.

Este esquema de gran escala también puede ser reducido a una escala más pequeña, en donde maquinas como sillas de ruedas puedan ser también auto dirigidas [3] para que estas puedan servir en situaciones donde el usuario no está en las condiciones físicas necesarias para poder controlar estos elementos.

Otra aplicación que se le puede dar a un sistema auto dirigido es la solución de laberintos de una forma eficiente e inteligente. Si se utiliza una programación estándar (sentencias del tipo IF, THEN) para el diseño de estos robots que resuelven laberintos, nos encontraremos con robots o vehículos que se mueven de una forma rígida y no natural, cada que se encuentra una pared u obstáculo debe realizar un giro de 90 grados y continuar hasta encontrar otro obstáculo y realizar otro giro de 90 grados, tal como puede verse en la figura 1.

En este proyecto se desarrolla un sistema de movimiento autónomo que responde una manera natural a los obstáculos, es decir, no

*Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Ingeniería en Telecomunicaciones, Sistemas y Electrónica (ITSE), no_mole_stes@hotmail.com

** Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Departamento de ingeniería, ilciarmin@gmail.com, dativa19@hotmail.com

genera giros rígidos de 90 grados, sino que calcula la mejor forma de girar y la dirección a la cual girar, logrando un desplazamiento que puede visualizarse como más natural. Este sistema se realiza mediante la aplicación de herramientas de razonamiento por medio de un controlador difuso.

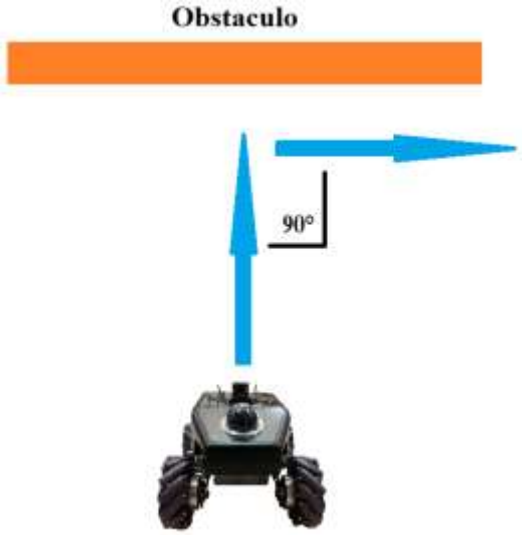

Figura 1.- Movimiento rígido de un robot, programado con un esquema de programación basado en IF, THEN. Las áreas anaranjadas representan obstáculos, y las líneas azules representan los caminos que el robot puede tomar de acuerdo a un análisis difuso de su entorno.

ESTADO DEL ARTE

Existen una gran cantidad de proyectos y aplicaciones que involucran a los controladores difusos para su funcionamiento, tales como los controladores de frecuencia [4], planeadores de rutas [5], sistemas de navegación [6], estabilizadores de sistemas con ruedas [7], sistemas de control de cambios de velocidad [8], diseño de robots para uso agrícola [9], entre muchas otras aplicaciones.

Muchas de las aplicaciones representadas en la literatura científica son sistemas de control difuso que han trabajado junto con la placa de desarrollo Arduino UNO, como el seguidor de velocidad de un motor de CD presentado en [10], o el seguidor solar presentado en [11], también se ha presentado un controlador de nivel de agua basado en Arduino y en un controlador difuso en [12], así como también el control de velocidad de un motor de CD [13], por mencionar solo alguno ejemplos de este tipo de proyectos. Lo que muestra que esta dupla de trabajo funciona con buena respuesta.

Ahora bien, para este proyecto, lo que nos interesa son las aplicaciones en las cuales se busque la generación de sistemas que tengan o presenten robots de navegación autónoma e inteligente [14] tal como la presentada en [15], en [16] se presenta una arquitectura de robots autónomos basados en controladores difusos. Estos sistemas no solo han sido utilizados para vehículos terrestres, sino también han sido exitosamente implementados sobre vehículos marinos, tal como se puede ver en [17] y en [18], así como también en vehículos aéreos no tripulados tal como puede verse en [19] y en [20].

Según *Naranjo* y otros autores los controladores difusos imitan perfectamente el comportamiento de la conducción humana en la conducción y el seguimiento de rutas, así como en maniobras de vehículos múltiples más complejas, de acuerdo a sus experimentos realizados en [21]. Por otro lado, también se ha presentado un sistema de control autónomo pero sobre una silla de ruedas, con la intención de ayudar a desplazarse a un sector poblacional con problemas motrices [22].

Como es posible darse cuenta, existen varias aplicaciones de los controladores difusos sobre sistemas de navegación autónoma, sin embargo, en este proyecto nos centraremos en la generación de un controlador de bajo coste económico que presentará como entradas si existe un objeto que represente una barrera y las direcciones en las cuales se tenga libertad de movimiento, para así tomar la decisión y el camino correcto a girar.

DESARROLLO

En este apartado trataremos el desarrollo en software y hardware del proyecto propuesto.

En la figura 2 se puede observar el movimiento que se logra del vehículo robotizado por medio de un control difuso. Se puede observar que el comportamiento no es rigido como el observado en la figura 1.

Figura 2.- Movimiento natural de un robot manejado por medio de un controlador difuso. Las áreas anaranjadas representan obstáculos, y las líneas azules representan los caminos que el robot puede tomar de acuerdo a un análisis difuso de su entorno.

Hardware

Se ha utilizado la plataforma Arduino UNO ya que ha demostrado que funciona de forma adecuada en proyectos científicos y tecnológicos [23–28]. Este sistema consta de dos secciones, una sección encargada del control del vehículo y otra encargada de recibir la información del vehículo para realizar el proceso denro de Matlab.

El circuito que se encarga del movimiento y control del robot puede verse en la figura 3. Este circuito consta de 3 sensores ultrasónicos encargados de recibir información del exterior, 1 servo motor encargado de proporcionar el ángulo de giro, 1 motor de DC encargado de hacer avanzar o retroceder el vehículo, 1 puente H encargado de proporcionar potencia al motor, una placa de desarrollo Arduino UNO que se encarga de realizar la gestión de los sensores y actuadores, y por último un módulo Bluetooth encargado de enviar y recibir información.

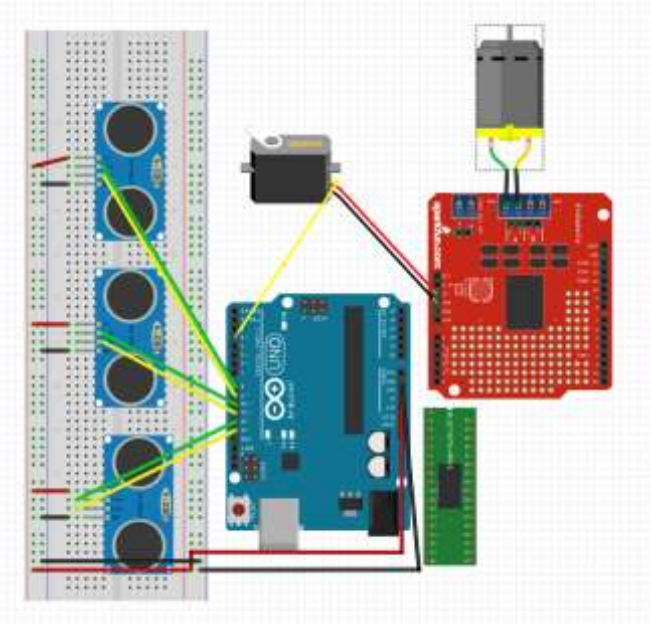

Figura 3.- Circuito que se encarga de realizar el control del vehículo robotizado.

Por otro lado, la figura 4 muestra el circuito que conecta al robot con la computadora y Matlab, la cual solo consta de un Arduino Mega y un Módulo Bluetooth.

Software

Para realizar el control difuso de este dispositivo, se ha utilizado el *Fuzzy logic toolbox* de Matlab con lo cual se ha generado el controlador mostrado en la figura 5. Se puede observar que tal controlador presenta 3 variables de entrada y una variable de salida, en este caso la variable de salida corresponde al ángulo que debe girar el vehículo para desplazase de manera natural.

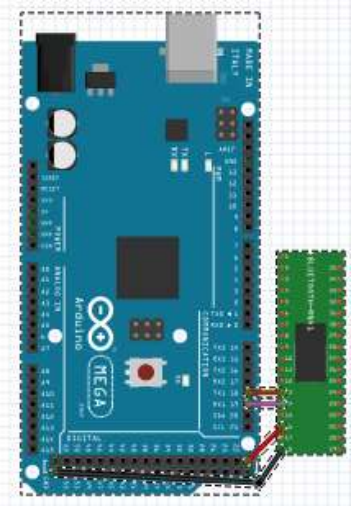

Figura 4.- Circuito que se encarga de realizar la conexión entre el robot y la computadora.

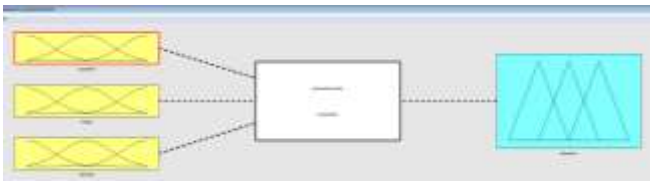

Figura 5.- Controlador difuso que se encarga de gestionar la dirección que el robot debe tomar.

El control se encuentra gestionado a través de las reglas de operación que se muestran en la figura 6.

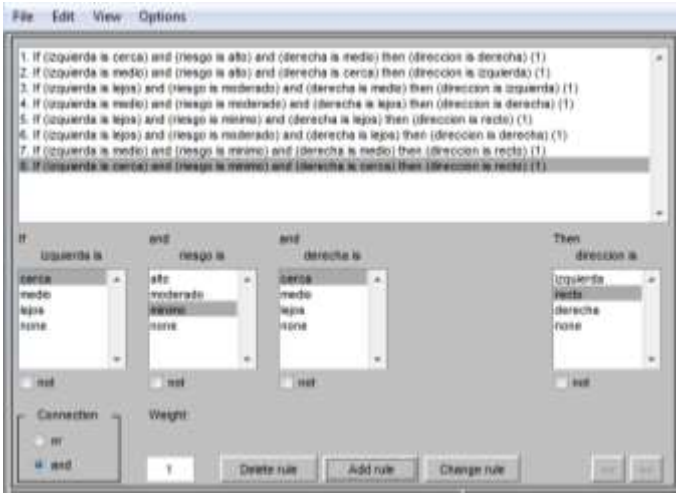

Figura 6.- Reglas de operación definidas para el control difuso.

El control delas direcciones que el vehículo robotizado están dadas por la combinación de variables de finidas por las superficies mostradas en las figuras 7 y 8. En este caso las variables son Izquierda, que indica si hay obstáculos a la izquierda; Derecha, que indica si hay obstáculos a la derecha; y Riesgo que calcula el riesgo existente de chocar con un obstáculo.

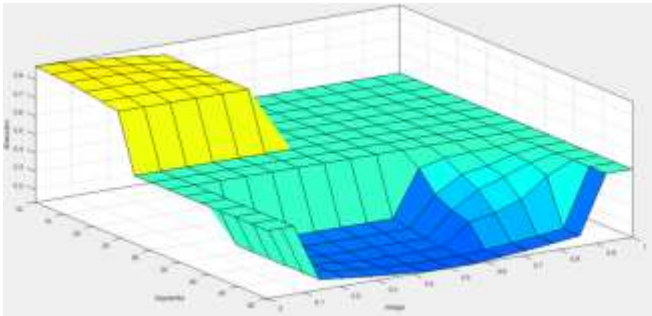

Figura 7.- Grafico de comportamiento que define la dirección de salida, cuando se evalúan las variables de entrada Izquierda y Riesgo.

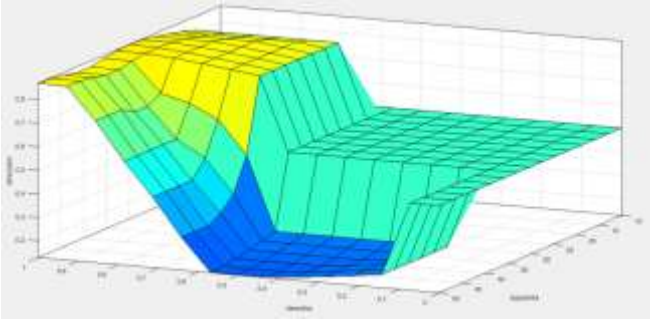

Figura 8.- Grafico de comportamiento que define la dirección de salida, cuando se evalúan las variables de entrada Izquierda y Derecha.

Por medio del controlador descrito y del hardware implementado, se ha logrado que el vehículo logre direccionarse en una forma natural y no tan rígida. Este sistema es un sistema de bajo costo que puede ser implementado en sistemas más grandes.

CONCLUSIONES

En este artículo se presentó el diseño de un sistema que toma decisiones direccionales dependiendo de los obstáculos y las características de entorno que se encuentren en su camino, este sistema analiza las entradas definidas por los sensores y concluye autónomamente cual es la mejor ruta a seguir. Se logró un sistema que no realice movimientos robotizados, es decir giros de 90 grados, sino por el contrario que realice un desplazamiento natural, un desplazamiento que no ese condicionado solamente a si se tiene un obstáculo en frente o no, sino que analice completamente el entorno y decida el mejor ángulo y dirección a seguir.

El sistema fue desarrollado utilizando la placa Arduino UNO como elemento de hardware, y como elemento de software se utilizó Arduino IDE y Matlab.
Las pruebas realizadas mostraron que el comportamiento del robot diseñado con este controlador, se ve natural y no robotizado.

Agradecimientos

Este proyecto ha sido apoyado por los proyectos PIAPI 1824, PAPIME PE111519, PIAPIME 4.31.05.19.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

1. Gubbi, J.; Buyya, R.; Marusic, S.; Palaniswami, M. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Futur. Gener. Comput. Syst.* **2013**.
2. Zanella, A.; Bui, N.; Castellani, A.; Vangelista, L.; Zorzi, M. Internet of things for smart cities. *IEEE Internet Things J.* **2014**.
3. Röfer, T.; Lankenau, A. Architecture and applications of the Bremen autonomous wheelchair. *Inf. Sci. (Ny).* **2000**.
4. Sharma, K., Agrawal, A., & Bandopadhaya, S. Springer, S. Fuzzy Logic Controlled Variable Frequency Drives. *Harmon. Search Nat. Inspired Optim. Algorithms* **2019**, 1153–1164.
5. Soliman, M., Azar, A. T., Saleh, M. A., & Ammar, H.H. Path Planning Control for 3-Omni Fighting Robot Using PID and Fuzzy Logic Controller. In Proceedings of the International Conference on Advanced Machine Learning Technologies and Applications; Springer, 2019; pp. 442–452.
6. Sasiadek, J.Z.; Wang, Q. Guidance and Navigation of Mobile and Flying Robot Using Fuzzy Control. *IFAC Proc. Vol.* **2017**.
7. Jamin, N.F.; Ghani, N.M.A.; Ibrahim, Z.; Masrom, M.F.; Razali, N.A.A.; Almeshal, A.M. Two-wheeled wheelchair stabilization using interval type-2 fuzzy logic controller. *Int. J. Simul. Syst. Sci. Technol.* **2018**.
8. Ramadhan, R.M.; Sudiarso, A.; Mahardika, M. Design and Simulation of Auto-Shifting System in Manual Transmission Gearbox for Electric Race Car with Fuzzy Logic Controller on Matlab-Simulink. *J. Phys. Conf. Ser.* **2019**.
9. Barakat, M. H., Azar, A. T., & Ammar, H.H. Agricultural Service Mobile Robot Modeling and Control Using Artificial Fuzzy Logic and Machine Vision. In Proceedings of the International Conference on Advanced Machine Learning Technologies and Applications; Springer, 2019; pp. 453–465.
10. Jayetileke, H.R.; De Mel, W.R.; Ratnayake, H.U.W. Real-time fuzzy logic speed tracking controller for a DC motor using Arduino Due. In Proceedings of the 2014 7th International Conference on Information and Automation for Sustainability: "Sharpening the Future with Sustainable Technology", ICIAfS 2014; 2014.
11. Bawa, D.; Patil, C.Y. Fuzzy control based solar tracker using Arduino uno. *Int. J. Eng. Innov. Technol.* **2013**.
12. CHABNI, F.; TALEB, R.; BENBOUALI, A.; Amin, M. The

Application of Fuzzy Control in Water Tank Level Using Arduino. *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.* **2016**.

13. Tir, Z.; Malik, O.; Hamida, M.A.; Cherif, H.; Bekakra, Y.; Kadrine, A. Implementation of a fuzzy logic speed controller for a permanent magnet dc motor using a low-cost Arduino platform. In Proceedings of the 2017 5th International Conference on Electrical Engineering - Boumerdes, ICEE-B 2017; 2017.
14. Saffiotti, A. The uses of fuzzy logic in autonomous robot navigation. *Soft Comput. - A Fusion Found. Methodol. Appl.* **2002**.
15. Tsourveloudis, N.C.; Valavanis, K.P.; Hebert, T. Autonomous vehicle navigation utilizing electrostatic potential fields and fuzzy logic. *IEEE Trans. Robot. Autom.* **2001**.
16. Bonarini, A.; Invernizzi, G.; Halva Labella, T.; Matteucci, M. An architecture to coordinate fuzzy behaviors to control an autonomous robot. In Proceedings of the Fuzzy Sets and Systems; 2003.
17. Lee, S.M.; Kwon, K.Y.; Joh, J. A fuzzy logic for autonomous navigation of marine vehicles satisfying COLREG guidelines. *Int. J. Control Autom. Syst.* **2004**.
18. Smith, S.M.; Rae, G.J.S.; Anderson, D.T. Applications of fuzzy logic to the control of an autonomous underwater vehicle.; 2002.
19. Kurnaz, S.; Cetin, O.; Kaynak, O. Fuzzy logic based approach to design of flight control and navigation tasks for autonomous unmanned aerial vehicles. *J. Intell. Robot. Syst. Theory Appl.* **2009**.
20. Kurnaz, S.; Cetin, O.; Kaynak, O. Adaptive neuro-fuzzy inference system based autonomous flight control of unmanned air vehicles. *Expert Syst. Appl.* **2010**.
21. Naranjo, J.E.; González, C.; García, R.; De Pedro, T.; Sotelo, M.A. Using fuzzy logic in automated vehicle control. *IEEE Intell. Syst.* **2007**.
22. Pires, G.; Nunes, U. A wheelchair steered through voice commands and assisted by a reactive fuzzy-logic controller. *J. Intell. Robot. Syst. Theory Appl.* **2002**.
23. Maksimović, M.; Vujović, V.; Davidović, N.; Milošević, V.; Perišić, B. Raspberry Pi as Internet of Things hardware : Performances and Constraints. In Proceedings of the Proceedings of 1st International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering IcETRAN 2014, Vrnjačka Banja, Serbia, June 2 – 5, 2014; 2014.
24. Ortega-Zamorano, F.; Molina-Cabello, M.A.; López-Rubio, E.; Palomo, E.J. Smart motion detection sensor based on video processing using self-organizing maps. *Expert Syst. Appl.* **2016**.
25. Ramírez, J. A. R., Franco, E. M., & Tinoco Varela, D. Fuzzification of facial movements to generate human-machine interfaces in order to control robots by XMPP internet protocol. In Proceedings of the In MATEC Web of Conferences; 2017.
26. Mandula, K.; Parupalli, R.; Murty, C.H.A.S.; Magesh, E.; Lunagariya, R. Mobile based home automation using Internet of Things(IoT). In Proceedings of the 2015 International Conference on Control Instrumentation Communication and Computational Technologies, ICCICCT 2015; 2016.
27. Fransiska, R.W.; Septia, E.M.P.; Vessabhu, W.K.; Frans, W.; Abednego, W.; Hendro Electrical power measurement using Arduino Uno microcontroller and LabVIEW. In Proceedings of the Proc. of 2013 3rd Int. Conf. on Instrumentation, Communications, Information Technol., and Biomedical Engineering: Science and Technol. for Improvement of Health, Safety, and Environ., ICICI-BME 2013; 2013.
28. Adriansyah, A.; Dani, A.W. Design of small smart home system based on arduino. In Proceedings of the Proceedings - 2014 Electrical Power, Electronics, Communications, Control and Informatics Seminar, EECCIS 2014. In conjunction with the 1st Joint Conference UB-UTHM ; 2014.

INFORMACIÓN ACADÉMICA

José Francisco Rojano Jaramillo: Actualmente alumno de la carrera Ingeniería en Telecomunicaciones, Sistemas y Electrónica dentro de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM.

Fernando Gudiño Peñaloza: Ingeniero Mecánico Electricista, egresado de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM. Maestro y Doctor en ciencias computacionales por el Tecnológico de Monterrey.

David Tinoco Varela: Ingeniero Mecánico Electricista, egresado de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM. Maestro y Doctor en ciencias computacionales por la UNAM. Actualmente profesor adscrito al departamento de ingeniería.