



Interfaz de control inteligente de velocidad y freno de motores por medio de un controlador difuso aplicado en un sistema embebido

Jesús García Velázquez*, David Tinoco Varela**

RESUMEN

Los motores son utilizados en una gran cantidad de aplicaciones tecnológicas, incluyendo sistemas de corte industriales, sistemas de transmisión de potencia y sistemas automotrices. Aunque en muchos casos este tipo de sistemas cuenta con sus propios sistemas de seguridad, el hecho de que estos sean dependientes de controles manuales o controles automatizados, genera posibles huecos en la seguridad de un usuario ocasional que por desconocimiento, irresponsabilidad o equivocación se interponga en la ejecución o dirección del motor en cuestión. Un ejemplo de este tipo de sucesos, se da cuando un individuo atraviesa una avenida sin percatarse que un vehículo se acerca a gran velocidad.

La idea de este proyecto es evitar este tipo de incidentes desafortunados, mediante el control de la velocidad y paro de un motor cuando ante la ejecución de este, se interpone un posible individuo u obstáculo. El control se lleva a cabo a través de lógica difusa, analizando variables de entrada como velocidad inicial del motor y distancia a la que se encuentra el objeto que se interpone en la correcta ejecución del sistema motorizado. Analizando estos datos, el sistema propuesto en este proyecto, decide cual es la mejor forma de evitar el percance, esto es mediante la disminución de la velocidad y en qué proporción se genera esa disminución. El sistema difuso propuesto, siempre se ajustará a la mejor respuesta posible dependiendo de cada posible combinación de condiciones de entrada.

Este proyecto ha sido implementado en placas de desarrollo embebidas tipo Arduino, lo que adicionalmente, le ha dado un coste económico sumamente bajo.

La idea propuesta, potencialmente puede evitar gran cantidad de accidentes industriales y automovilísticos.

ABSTRACT

The motors are used in a large number of technological applications, including industrial cutting systems, power transmission systems and automotive systems. Although in many cases this type of systems has its own security systems, the fact that these are dependent on manual controls or automated controls,

generates possible gaps in the security of an occasional user that due to ignorance, irresponsibility or mistake gets in the way of the execution or direction of the engine in question. An example of this type of events occurs when an individual crosses an avenue without noticing that a vehicle is approaching at high speed.

The idea of this project is to avoid this type of unfortunate incidents, by controlling the speed and stoppage of an engine when it is executing and a possible individual or obstacle is interposed. The control is carried out through fuzzy logic, analyzing input variables such as the initial speed of the motor and the distance at which the object that stands is located, hindering the correct execution of the motorized system. Analyzing such data, the proposed system, decides which the best way to avoid the mishap is, by decreasing the speed and in what proportion such decreasing is generated. The proposed fuzzy system will always adjust to the best possible response depending on each possible combination of input conditions.

This project has been implemented in embedded Arduino type development boards, which additionally, has given it an extremely low economic cost.

The proposed idea can potentially prevent a large number of industrial and automobile accidents.

Palabras claves: Control difuso, inteligencia artificial, sistemas embebidos, control inteligente.

INTRODUCCIÓN

Existe un gran número de accidentes laborales que se presentan debido a que un usuario o trabajador se encuentra dentro de un área restringida donde un motor está ejecutando una tarea, tal motor puede estar moviendo brazos robóticos, tornos, neumáticos, realizando un desplazamiento de maquinaria. La mayoría de estos procesos son controlados de manera manual, o de forma automatizada, sin embargo, en ambos casos se presentan situaciones de riesgo, si un operador está manipulando la maquinaria, puede lesionar a algún otro individuo al no percatarse de su presencia, el individuo puede encontrarse fuera del campo de visión del operador, cansancio del operador, o simplemente, la falta de un sistema que permita frenar los motores de una forma adecuada; por otro lado, si el sistema es automatizado, este realizará cada tarea de una forma rígida y mecanizada, este sistema no será capaz de poder identificar un posible "obstáculo" cuando se encuentre realizando su tarea. Si un usuario se interpone en la ejecución del sistema motorizado, este sistema simplemente lo arrastrará o lo lesionará sin percatarse de su presencia.

*Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Ingeniería Mecánica Eléctrica (IME), jesus.g.velazquez@gmail.com

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





Los mismos casos se pueden presentar cuando hablamos de un vehículo motorizado, puede ser conducido manualmente y el piloto puede no percatarse que un transeúnte cruza la carretera sin mirar, o el piloto puede no ser lo suficientemente rápido para poder frenar el vehículo de forma apropiada, generando un accidente que puede perjudicar tanto al transeúnte como al piloto.

Debido a las circunstancias planteadas, es necesario generar sistemas de protección para cualquier individuo que respondan de manera inteligente, y que sean capaces de tomar una decisión cuando existan elementos extraños interfiriendo en su correcta ejecución; si hablamos de sistemas motorizados, es necesario crear herramientas que puedan frenar y modificar la velocidad de funcionamiento del sistema de acuerdo a las barreras que se encuentren por delante de él.

Debido a esta necesidad, se plantea este proyecto, donde se presenta un sistema de control de velocidad y paro de diferentes sistemas motorizados, la respuesta de la propuesta se da a través de un sistema de control difuso. Se han realizado las pruebas sobre tarjetas de desarrollo de bajo coste, tal como Arduino UNO, probando su eficiencia a pequeña escala.

PRELIMINARES

En esta sección se presentarán algunos conceptos necesarios para el desarrollo del sistema propuesto. Los conceptos serán presentados en una forma general.

Lógica difusa y controlador difuso

Cuando hablamos de lógica clásica, nos referimos a una lógica donde tenemos una respuesta verdadera y una falsa. Este tipo de visión evita evaluar situaciones complejas de manera apropiada. Bajo esta lógica, podemos suponer que una persona es alta si sobrepasa 180 cms de altura, sin embargo, estaríamos diciendo que una persona de 179 cms no sería alta, la perspectiva humana no puede visualizar este hecho como algo concreto, ya que un observador puede asumir que 179 e incluso 176 cms corresponden a la altura de una persona alta. Para tratar con este tipo de situaciones, se pueden plantear conjuntos difusos.

La *lógica difusa* surge entre los años 60's y 70's propuesta por Lofti A Zadeh [1]. Por medio de esta lógica, es posible simular los mecanismos de razonamiento humano, estos sistemas se dicen que son basados en la experiencia, y con ellos podemos evaluar la incertidumbre de los procesos cognitivos humanos.

La lógica difusa es una forma de representar matemáticamente la incertidumbre y la vaguedad de un problema.

La lógica difusa emplea valores de números reales comprendidos entre 0 y 1 para indicar si un hecho es totalmente falso (0) o totalmente cierto (1), esto es el grado de pertenencia de un valor de entrada en un conjunto difuso, al ser multivaluada, una entrada puede pertenecer a más de un conjunto difuso al mismo tiempo, con un distinto valor de pertenencia para cada uno. Los conjuntos difusos, de este modo proporcionan una transición suave entre una característica y otra. Una vez que se han determinado los distintos valores de pertenencia de una entrada a cada uno de los conjuntos en el universo de discurso se dice que la variable se ha *borrosificado*.

Este concepto matemático a generado una herramienta altamente utilizada y utilizable en sistemas tecnológicos: *los Controladores difusos*. Un sistema de control estándar basado en lógica difusa se puede representar de acuerdo a la figura 1.

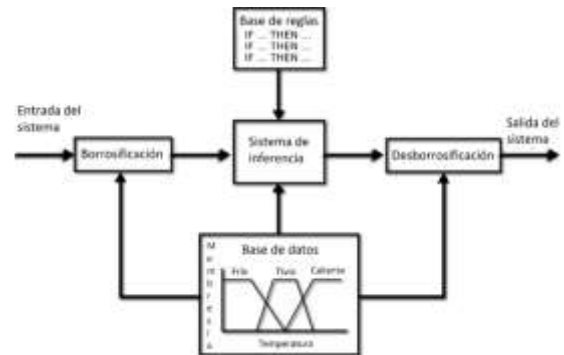


Figura 1. Esquema básico de un sistema de control difuso.

Estos sistemas que han sido eje principal de desarrollo de una gran cantidad de aplicaciones e interfaces, entre las que se pueden mencionar, el control de señales PWM para mejorar el rendimiento y la eficiencia en unidades de frecuencia variable (VFD), y así controlar el funcionamiento de los motores de inducción que generalmente son de naturaleza no lineal [2]; el control de la estabilización de un sistema de silla de ruedas con carga útil en movimiento [3]; control de sistemas de robots con llantas [4]; para el control de sistemas domóticos [5]; y en particular una aplicación interesante para los fines de este proyecto, es el desarrollo de un sistema que puede operar el proceso de cambio de la transmisión manual de un automóvil de forma automática. [6]. Según los autores, hay dos programas importantes dentro del sistema; el programa de cambio automático y el programa del acelerador automático.

Tarjetas de desarrollo y Arduino UNO

Actualmente existen una gran cantidad de tarjetas de desarrollo que pueden ser utilizada para el diseño y desarrollo de múltiples sistemas científicos y tecnológicos, entre ellas podemos encontrar tarjetas basadas en microcontroladores, en microprocesadores y en FPGA (*field-programmable gate array*). Entre este abanico de posibilidades, nos podemos encontrar tarjetas como Raspberry Pi, Tiva-C LaunchPad, Parallax, PYNQ, entre otras. Dentro de todas ellas, existe una tarjeta de desarrollo que goza de gran popularidad por su facilidad de uso y su bajo coste económico, Arduino UNO. Cada una de estas tarjetas tiene los recursos necesarios para poder generar proyectos con suficiente autonomía, tales como memoria, unidad de procesamiento, puertos de comunicación, y pines de entrada y salida para poder interactuar con diferentes tipos de sensores y actuadores.

Arduino UNO es una tarjeta de desarrollo, nacida en el *Ivrea Interaction Design Institute*, Italia. Fue ideada con la intención de que cualquier usuario pudiera utilizarla, sin importar sus conocimientos previos de programación o ingeniería.



Esta placa ha sido el corazón de una gran cantidad de proyectos tecnológicos, entre los que se encuentran sistemas domóticos [7], [8], [9]; sistemas de adquisición de datos [10]–[12]; monitores de radiación solar [13]–[15], entre muchas otras aplicaciones.

DESARROLLO DEL PROYECTO

En esta sección se presentarán los detalles y las pruebas realizadas al esquema propuesto, se mostrará tanto el hardware como el software.

Para la realización de este proyecto se han utilizado tanto herramientas en hardware como en software, se ha diseñado el circuito electrónico que controlará el vehículo, así como el sistema difuso que será el encargado de tomar las decisiones relacionadas a la velocidad de salida del motor.

En la figura 2, se puede ver el sistema electrónico que representa al vehículo a controlar, donde se puede observar que la placa de desarrollo Arduino UNO, es el centro de operaciones de tal sistema.

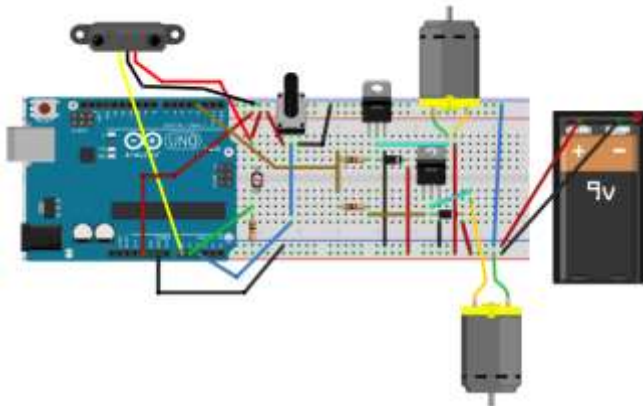


Figura 2.- Sistema electrónico del vehículo a controlar.

Para el diseño del controlador difuso, se ha utilizado Matlab, para la creación de los conjuntos difusos y las reglas de operación. Se han considerado 3 variables de entrada, las cuales son: Visibilidad del vehículo, velocidad inicial y distancia. A cada una de estas variables se les ha definido un comportamiento difuso, este comportamiento puede ser observado en las figuras 3 a 5.

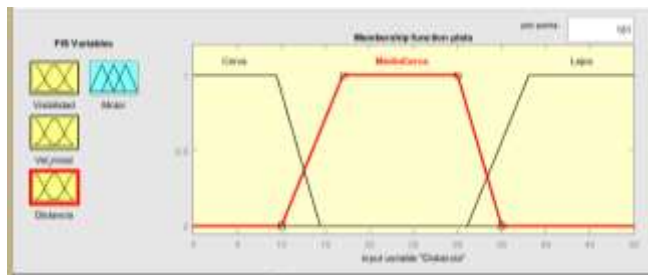


Figura 3.- Conjuntos difusos pertenecientes a la variable de entrada Distancia.

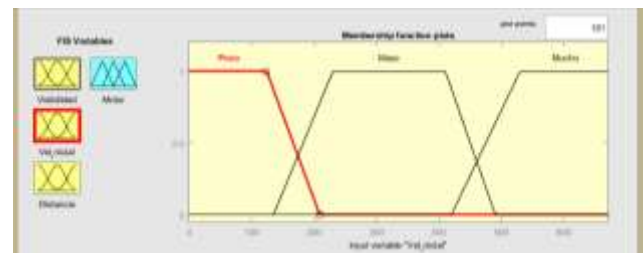


Figura 4.- Conjuntos difusos pertenecientes a la variable de entrada Velocidad inicial.

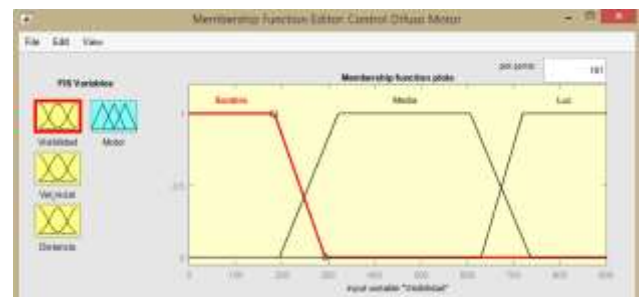


Figura 5.- Conjuntos difusos pertenecientes a la variable de entrada Visibilidad.

Estas tres variables, son conjuntadas y analizadas por medio de controlador difuso para decidir cuál es la mejor respuesta para la salida del motor que controla la velocidad del vehículo. La velocidad del vehículo, quedará representada por medio de los conjuntos difusos observados en la figura 6.

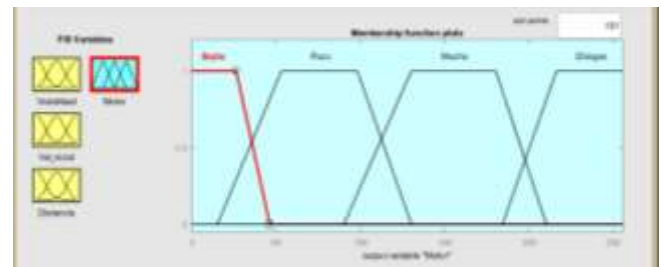


Figura 6.- Conjuntos difusos pertenecientes a la velocidad de salida del motor.

Para generar el control total de este sistema, se generó un conjunto de reglas sobre las cuales el sistema basa su funcionamiento. Estas reglas pueden verse en la figura 7.

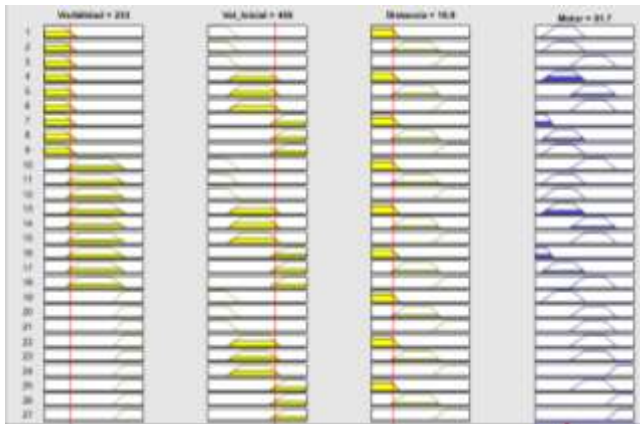


Figura 7.- Conjunto de reglas que rigen el funcionamiento del sistema propuesto.

El comportamiento general del sistema propuesto, puede visualizarse en las figuras 8 a 10.

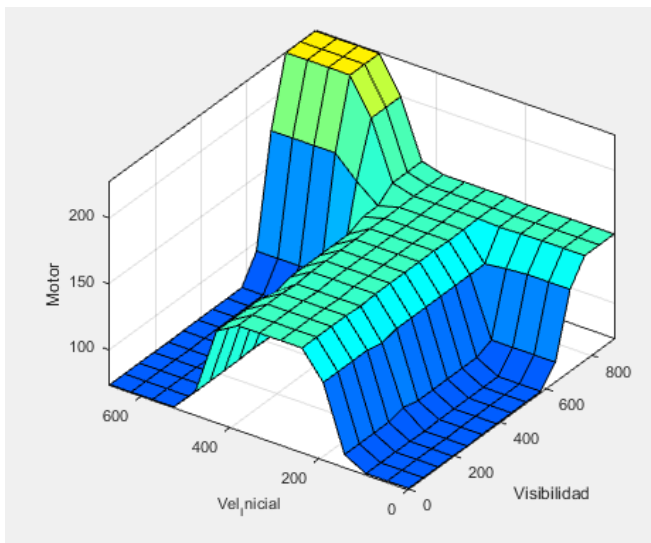


Figura 8.- Comportamiento general del sistema propuesto.

En las figuras 9 a 10, pueden observarse las interacciones que tendrán las variables de entrada con respecto al resultado de salida. Se puede observar que cada uno de los ejes de tales superficies, representan una de las variables de entrada del sistema planteado. Mostrando la reacción en cada una de las posibles combinaciones de entrada del vehículo.

Resultados

El vehículo fue probado colocando diferentes interferencias frente a los sensores de distancia y de visibilidad, para de esta forma poder verificar que el controlador de velocidad funcionaba correctamente. Cuando se le han colocado obstáculos a los

sensores, estos han mandado la información correcta al controlador difuso, modificando la velocidad de salida de acuerdo a la distancia del objeto y velocidad de inicio del vehículo. Este controlador mostro gran eficacia ya que logró en todas las pruebas detener el motor completamente antes de poder impactar a un objeto que se encuentre frente del vehículo.

Se realizaron pruebas con diferentes obstáculos colocados en frente del vehículo para verificar si se detenía la velocidad del motor de acuerdo a la distancia y velocidad inicial del vehículo.

Es importante mencionar que este sistema puede controlar la velocidad en todo su rango de posibilidades al no utilizar algoritmos condicionales.

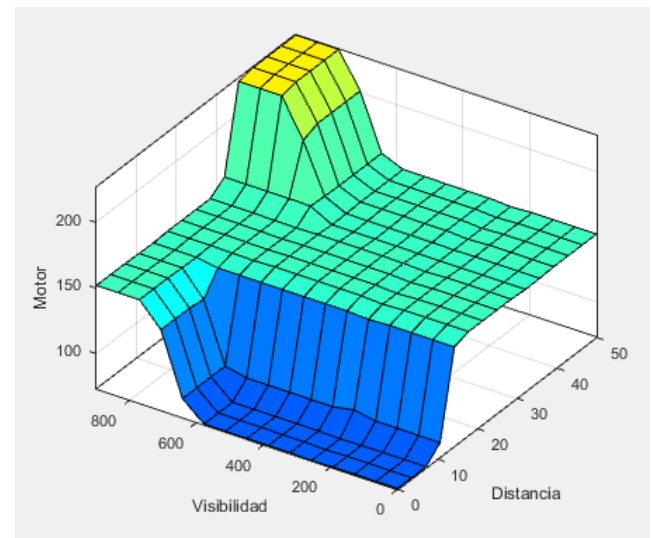


Figura 9.- Comportamiento general del sistema propuesto.

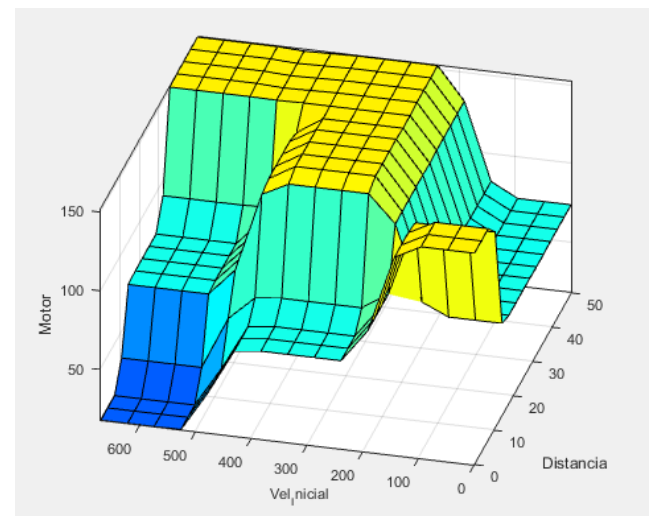


Figura 10.- Comportamiento general del sistema propuesto.



Si se utilizaran algoritmos condicionales, solo se tendrían un número definido de velocidades, sin embargo, al utilizar los algoritmos difusos es posible utilizar todos los valores dentro del rango de velocidad del motor utilizado.

CONCLUSIONES

En este proyecto se ha presentado un sistema de control de velocidad y freno de motores por medio de un controlador difuso. El controlador tiene como variables de entrada la velocidad inicial del motor y la distancia a la cual se encuentra un objeto o individuo que puede ser potencialmente impactado o lesionado por el uso del motor.

El sistema propuesto puede ser una forma efectiva de evitar diferentes tipos de accidentes laborales y vehiculares, ya que la respuesta depende completamente de las condiciones en las que se encuentre el sistema motorizado, en lugar de la reacción de un usuario o el paro de un sistema automatizado. Con este sistema se busca evitar un daño a un usuario en vez de detener el motor cuando el daño ha sido hecho.

Las pruebas realizadas fueron satisfactorias ya que la velocidad del motor utilizado fue correctamente modificada de acuerdo a las variables evaluadas en cada instante, es decir, cuando cada combinación de valores de variables de entrada fueron ingresadas el sistema difuso logro controlar la velocidad del motor de acuerdo a las superficies de comportamiento mostradas en las figuras 8 a 10..

Agradecimientos

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

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- [1] L. A. Zadeh, "Fuzzy Sets-Information and Control-1965," *Inf. Control*, 1965.
- [2] S. Sharma, K., Agrawal, A., & Bandopadhyaya, S. Springer, "Fuzzy Logic Controlled Variable Frequency Drives," *Harmon. Search Nat. Inspired Optim. Algorithms*, pp. 1153–1164, 2019.
- [3] N. F. Jamin, N. M. A. Ghani, Z. Ibrahim, M. F. Masrom, N. A. A. Razali, and A. M. Almeshal, "Two-wheeled wheelchair stabilization using interval type-2 fuzzy logic controller," *Int. J. Simul. Syst. Sci. Technol.*, 2018.
- [4] L. T. Castillo, O., & Aguilar, "Fuzzy Control for Wheeled Mobile Robots," in *Type-2 Fuzzy Logic in Control of Nonsmooth Systems.*, 2019, pp. 85–96.
- [5] V. M. Pau, G., & Salerno, "Wireless Sensor Networks for Smart Homes: A Fuzzy-Based Solution for an Energy-Effective Duty Cycle," *Electronics.*, vol. 8, no. 2, p. 131, 2019.
- [6] R. M. Ramadhan, A. Sudiarso, and M. Mahardika, "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.
- [7] J. Chandramohan *et al.*, "Intelligent Smart Home

Automation and Security System Using Arduino and Wi-fi," *Int. J. Eng. Comput. Sci.*, 2017.

- [8] K. Mandula, R. Parupalli, C. H. A. S. Murty, E. Magesh, and R. Lunagariya, "Mobile based home automation using Internet of Things(IoT)," in *2015 International Conference on Control Instrumentation Communication and Computational Technologies, ICCICCT 2015*, 2016.
- [9] A. Adriansyah and A. W. Dani, "Design of small smart home system based on arduino," in *Proceedings - 2014 Electrical Power, Electronics, Communications, Control and Informatics Seminar, EECCIS 2014. In conjunction with the 1st Joint Conference UB-UTHM*, 2014.
- [10] A. H. Shajahan and A. Anand, "Data acquisition and control using Arduino-Android platform: Smart plug," in *2013 International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability, ICEETS 2013*, 2013.
- [11] J. P. Grinias, J. T. Whitfield, E. D. Guetschow, and R. T. Kennedy, "An inexpensive, open-source USB Arduino data acquisition device for chemical instrumentation," *J. Chem. Educ.*, 2016.
- [12] D. M. Faris and M. B. Mahmood, "Data acquisition of greenhouse using arduino," *J. Babylon Univ. Appl. Sci.*, 2014.
- [13] D. Bawa and C. Y. Patil, "Fuzzy control based solar tracker using Arduino uno," *Int. J. Eng. Innov. Technol.*, 2013.
- [14] T. Kaur, S. Mahajan, S. Verma, Priyanka, and J. Gambhir, "Arduino based low cost active dual axis solar tracker," in *1st IEEE International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems, ICPEICES 2016*, 2017.
- [15] M. Zolkapli, S. A. M. Al-Junid, Z. Othman, A. Manut, and M. A. Mohd Zulkifli, "High-efficiency dual-axis solar tracking developement using Arduino," in *Proceedings of 2013 International Conference on Technology, Informatics, Management, Engineering and Environment, TIME-E 2013*, 2013.

INFORMACIÓN ACADÉMICA:

Jesús García Velázquez: Actualmente alumno de la carrera Ingeniero Mecánico Electricista dentro de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM.

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.

