

Vehículo Didáctico Guiado por Medio de una Aplicación de un Dispositivo Móvil

Guided Didactic Vehicle by means of a Mobile Device Application

Ramiro José González Horta , Jimer Emir Loría Yah, Carlos Alberto Decena Chan , Gerardo Israel de AtochaPech Caraveo, Miguel Ángel Cohuo Ávila , Yésica Alejandra Giraldo Tique, Alejo Mosso Vázquez

Departamento de Mecatrónica, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Calkiní en el Estado de Campeche.
Av. Ah Canul S/N por Carretera Federal, Calkiní, Campeche, México, CP 24900.

* Correo-e: rjgonzalez@itescam.edu.mx

PALABRAS CLAVE: RESUMEN

Vehículo guiado, agente inteligente, comandos hablados, control en tiempo real.

Este artículo presenta el diseño y construcción de un vehículo didáctico guiado automáticamente por medio de una aplicación de un dispositivo móvil como plataforma experimental que permita al alumno la fácil evaluación de algoritmos de movimiento y la mejora de su desempeño para el recorrido de trayectorias en condiciones no-holónicas. El vehículo es de tres grados de libertad, de accionamiento diferencial, con dos llantas montadas en un eje común y movidas separadamente por dos motores. El campo de aplicación de esta plataforma está enfocado al aprendizaje basado en la práctica del control guiado a distancia por medio de la conectividad y la comunicación entre dos dispositivos.

KEYWORDS: ABSTRACT

Guided vehicle, intelligent agent, spoken commands, real-time control.

This article presents the design and construction of a didactic vehicle guided automatically by means of an application of a mobile device as an experimental platform that allows the student the easy evaluation of movement algorithms and the improvement of their performance for trajectory travel in non-holonomic conditions. The vehicle is three degrees of freedom, differentially driven, with two tires mounted on a common axle and moved separately by two direct current motors. The field of application of this platform is focused on learning, based on the practice of remote guided control through connectivity and communication between two devices.

Recibido: 6 de noviembre de 2020 • **Aceptado:** 24 de abril de 2021 • **Publicado en línea:** 4 de junio de 2021

I. INTRODUCCIÓN

El medio laboral demanda profesionistas mejor preparados, lo que representa un desafío para el docente en la formación del alumno. Adicionalmente, notamos que la mecatrónica por ser de naturaleza multidisciplinaria está sujeta a cambios tecnológicos constantes. Por estas razones, el docente está obligado a innovar continuamente sus herramientas didácticas.

En la actualidad existen diversas herramientas tecnológicas que pueden ser usadas con propósitos didácticos para fortalecer el aprendizaje del alumno en el desarrollo de sus capacidades y competencias en las diferentes disciplinas de la mecatrónica [1-10]. En [1] se controla el robot móvil Kephra III a través de un dispositivo móvil en la plataforma Androide; la comunicación entre el dispositivo y el robot se realiza por medio de Bluetooth y WiFi; la solución muestra el uso del Smartphone como unidad de control sin usar la computadora. En [2] se presentan los modelos cinemáticos de un robot móvil de tres grados de libertad de accionamiento diferencial con dos llantas accionadas por dos motores separados, y montadas en un eje común. En [3] se analiza la cinemática de un robot móvil que se desplaza en el plano con un número arbitrario de ruedas, las cuales sirven para direccionar o controlar al robot. En [4, 9] se reporta la construcción de un robot móvil de tres grados de libertad guiado automáticamente con dos llantas accionadas, el cual se usa para evaluar el desempeño de controladores, mientras que en [8] se reporta la construcción de un robot móvil de cuatro ruedas omnidireccionales que definen al robot como holonómico, el cual puede desplazarse en el plano sin modificar su orientación. En [5] se presenta la robótica probabilística aplicada a la representación estadística de la información y a la toma de decisiones. En [6], además de presentar la cinemática de un robot móvil sobre ruedas de tres grados de libertad, se presenta también la medición de desplazamiento por odometría. En [7] se presenta una

plataforma de simulación de esquemas de control de robots móviles con dos ruedas en tracción diferencial, basada en Easy Java e interconectada con Simulink y Matlab. En [10] se aplica la teoría del control a la regulación, basada en visión, de la posición y orientación de robots móviles con ruedas.

La inclusión del uso de herramientas didácticas en los métodos de enseñanza es de gran importancia en la formación de los alumnos ya que permite llevar a la práctica gran parte de los conceptos que se abordan durante la clase, así como de reducir los tiempos de desarrollo de competencias.

En este artículo se presenta el diseño y construcción de un vehículo móvil de tres grados de libertad de accionamiento diferencial para ser usado como plataforma didáctica para la enseñanza de la mecatrónica, el cual es guiado en forma remota a través de una aplicación móvil que envía comandos por voz en forma inalámbrica por terminales de bluetooth. La plataforma está compuesta de cuatro partes principales: Mecánica, Electrónica, Maquinas eléctricas y Software. Las tres primeras se integran por un chasis que aloja dos llantas con sus respectivos motores de CD, una llanta de movimiento libre, una unidad de potencia basada en puente H, una tarjeta Arduino Leonardo, hardware de comunicación Bluetooth, y un giroscopio. El vehículo opera en condiciones no-holonómicas exhibiendo tres grados de libertad: dos coordenadas cartesianas de su centro geométrico y una coordenada angular para su orientación. Por otro lado, la parte del software es donde radica el funcionamiento de esta herramienta, ya que es donde el alumno tendrá que desarrollar sus competencias. La operación incluye un modelo de programación básico que posteriormente el alumno deberá mejorar. El mayor beneficio de esta plataforma radica en su estructura flexible, lo que permite adaptarse a los cambios vertiginosos de la tecnología. Es decir, la plataforma permitirá al alumno desarrollar sus

capacidades de análisis, solución de problemas, desarrollo de algoritmos de movimiento, programación, monitoreo, comunicación por voz, y medición del desempeño. Además, la plataforma también permitirá al docente mejorar su proceso de enseñanza haciéndolo más práctico y aplicativo, en donde podrá incorporar nuevas tecnologías. El prototipo es de tres grados de libertad (x, y, θ) con movimiento en el plano; puede ser trasladado a las coordenadas (x,y) del plano y al mismo tiempo rotado en un ángulo θ alrededor de un eje vertical. Los comandos hablados: adelante, atrás, izquierda, derecha y alto producen los movimientos necesarios de traslación y rotación. Una aportación adicional de este trabajo es, además de la flexibilidad mencionada anteriormente, el comportamiento del vehículo como un agente inteligente que cuando recibe un comando hablado, el sistema lo ejecuta en forma autónoma usando su orientación medida por un giroscopio. Por ejemplo, si se ordena izquierda, el móvil se moverá a la izquierda 30 grados en forma automática por medio de programas de control en tiempo real. Si se ordena izquierda tres veces, el móvil se moverá 90 grados.

II. DESARROLLO

1. Descripción del vehículo

En el movimiento de un vehículo móvil con dos llantas existe un punto llamado centro instantáneo de curvatura (CIC) alrededor del cual cada llanta sigue un curso circular, como se ilustra en la Figura 1.

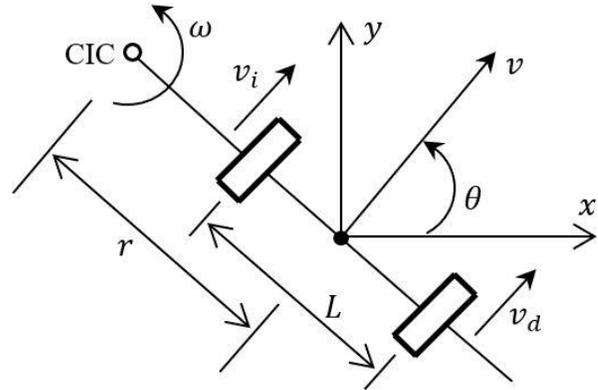


Figura 1: Cinemática del vehículo de accionamiento diferencial. L es la distancia que separa las llantas, r es el radio de curvatura y ω es la velocidad angular alrededor del centro instantáneo de curvatura CIC (Diagrama reeditado de [2]).

Las velocidades v_i y v_d de las llantas determinan la posición (x, y, θ) del vehículo. Debido a la presencia de obstáculos, el alcance de la posición cartesiana (x, y) está restringido a modificar θ por lo que el vehículo se clasifica como no-holonómico. Cuando se da el comando Izquierda, se tiene $v_i < v_d$ y el vehículo rota con velocidad ω alrededor de CIC. Con Derecha, se tiene $v_i > v_d$ y la rotación será en sentido contrario. Con el comando Avanza se tiene $v_i \cong v_d$.

Considerando la relación usual entre velocidades angulares y lineales, se pueden determinar a partir de la Figura 1 las expresiones siguientes:

$$\omega \left(r + \frac{L}{2} \right) = v_d$$

$$\omega \left(r - \frac{L}{2} \right) = v_i$$

Las cantidades r, ω, θ, v_i y v_d son variables dependientes del tiempo. Dado que las velocidades v_i y v_d se pueden medir, las cantidades r y ω se pueden inferir resolviendo el sistema de dos ecuaciones anteriores, como sigue:

$$r = \frac{L (v_d + v_i)}{2 (v_d - v_i)}$$

$$\omega = \frac{(v_d - v_i)}{L}$$

Por tanto, el radio de curvatura r y la velocidad angular ω del movimiento del vehículo pueden ser monitoreadas a partir de las velocidades lineales v_i y v_d .

Cuando $v_i \neq v_d$, el vehículo podrá rotar a la derecha ó a la izquierda. La rotación θ va desde cero en la posición corriente del vehículo, hasta un valor final deseado θ_D propuesto por el usuario. La posición angular instantánea θ es medida por un giroscopio (o por integración de la velocidad angular ω) y se usa como retroalimentación de un controlador PID. Es decir, la variable θ sigue al valor θ_D en forma automática cuando se emite el comando Derecha ó Izquierda.

Aunque el vehículo no necesita sensores para detectar obstáculos, su navegación se realiza por medio de la visión del usuario y el accionamiento de sus motores por comandos de voz.

El desarrollo del proyecto se compone principalmente de cuatro fases, las cuales se describen a continuación.

2. Diseño mecánico del chasis

El diseño mecánico del chasis del vehículo fue realizado mediante el modelado 3D utilizando el *software SolidWorks*. Este proceso va desde el croquizado de cada una de las partes y componentes que integran el prototipo, el armado y ensamblaje de las piezas, la simulación y análisis de movimientos, la evaluación de los resultados, la retroalimentación y propuesta de mejora. Estos procesos se repitieron hasta lograr el diseño perfecto para la creación del vehículo. En la figura 2 se muestra el prototipo del chasis del vehículo.

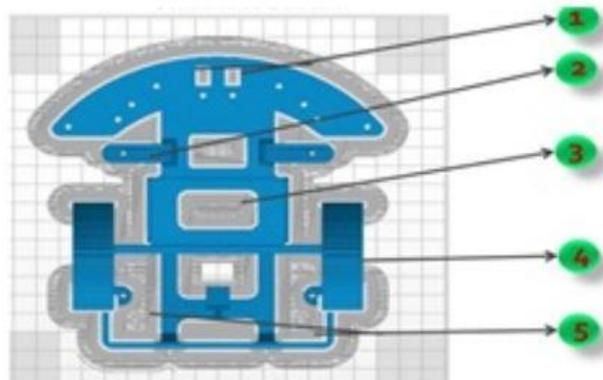


Figura 2: Chasis del Vehículo. (1) es el lugar donde se aloja la llanta libre y (4) para las llantas motrices, en (2) se sujeta la tarjeta Arduino, en (3) la batería, y en (5) se alojan los motores.

3. Ensamble de componentes electrónicos

En esta segunda etapa se ensambla la tarjeta de control que recibe los componentes, la tarjeta Arduino Leonardo, los motores de CD los cuales permiten la movilidad del vehículo en cuatro comandos posibles (adelante, atrás, izquierda, derecha y alto) con ayuda del puente H se controla la polaridad de corriente de salida para sus respectivos pines, para el motor 1 y para el motor 2, y para la conectividad del módulo Bluetooth que sirve de enlace entre el vehículo y el dispositivo móvil mediante la transmisión de datos por comandos de voz dentro de una Red Inalámbrica de Área Personal (WPAN). La figura 3 muestra el módulo *Bluetooth*.

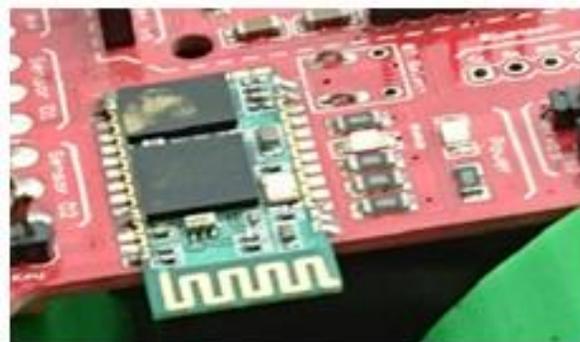


Figura 3: Tarjeta de control mostrando el módulo *Bluetooth*

4. Programación del control remoto

En esta fase se implementa la tarjeta Arduino Leonardo. Una de las ventajas de este microcontrolador es que dispone de USB nativo por hardware y por lo tanto no necesita de ninguna conversión serie-USB. La Figura 4 muestra la conexión de placa.

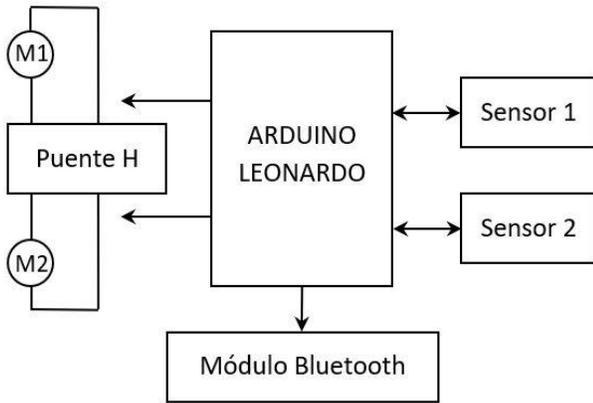


Figura 4: Conexión de la tarjeta Arduino Leonardo

Procedimiento:

Las herramientas utilizadas de la Figura 4 muestran de manera general las conexiones con la tarjeta Leonardo. La programación de esta placa nos permite dar las instrucciones para que el móvil tenga la comunicación con el módulo Bluetooth y el puente H para que con ayuda de estos elementos se haga la trazabilidad deseada.

En la Fig. 5 se muestra la programación con la que se hizo la comunicación vía *Bluetooth* para los movimientos implementados en los motores de CD con ayuda del puente H.

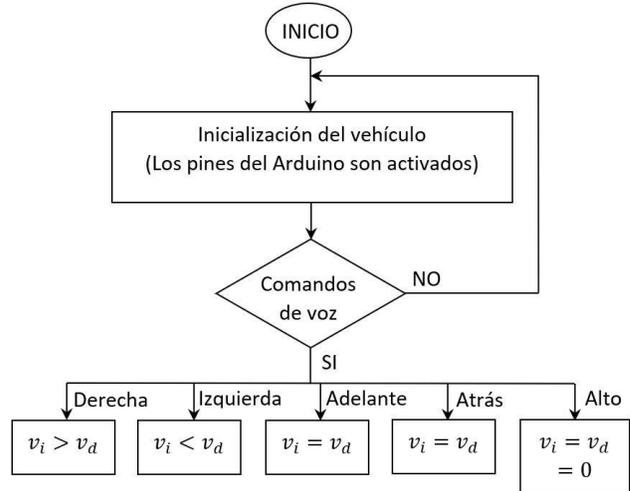


Figure 5: Algoritmo de comandos de voz al vehículo

5. Comunicación con plataforma

En esta fase del proyecto se verifica la conexión de las fases anteriores, como se muestra en la Figura 6. Esta fase es importante porque hace la comunicación vía Bluetooth, la detección de dispositivos por un medio de exploración que busca en un área local los dispositivos habilitados para Bluetooth, y solicita al dispositivo una sincronización cuando se encuentre visible. Si el dispositivo es detectado, este responderá a la petición mediante el intercambio de información, con el nombre del dispositivo, usando esta información para iniciar una conexión para una transferencia de datos con el dispositivo.

La transferencia de datos por Bluetooth está configurada por medio de una aplicación APK (Application Package File) con el cual esta herramienta nos permite darle la transferencia de comunicación de las instrucciones que se habían planteado anteriormente.

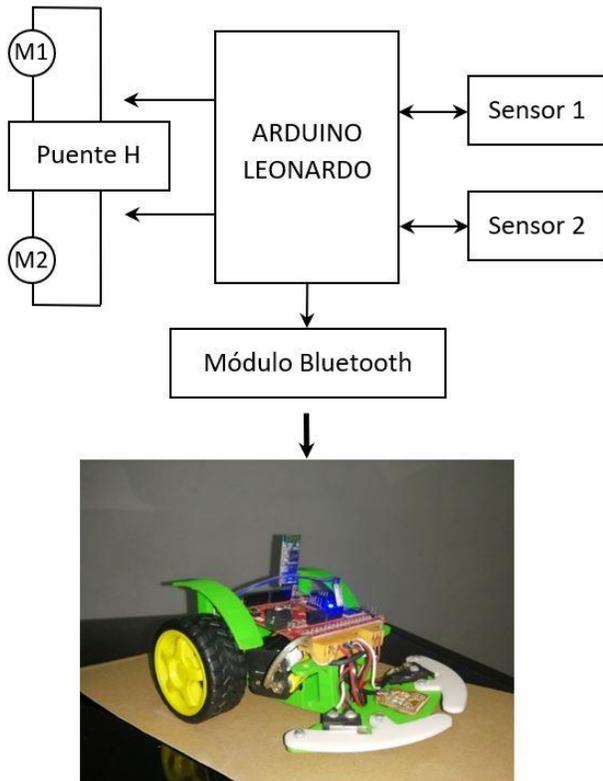


Figura 6: Comunicación del vehículo

III. MEJORAS A IMPLEMENTAR EN EL PROTOTIPO

Se sugieren las siguientes opciones de mejora para el prototipo:

- a. Mejorar la calidad tecnológica de los motores.
- b. Mejorar el tiempo de respuesta en las instrucciones.
- c. Reducir interferencias eléctricas.
- d. Migrar del vehículo actual a uno sin comandos de voz

Con base a las pruebas realizadas con el vehículo se observó que existe una buena comunicación con el móvil, en la exploración de lugares abiertos y distancias cortas. Sin embargo, cuando al vehículo se le presenta alguna interferencia aparece un retardo de comunicación lo cual

presenta tiempos de respuesta más lentos, por lo que se proponen las anteriores mejoras.

IV. TRABAJOS FUTUROS

Con base a las pruebas realizadas en este proyecto, podemos determinar que los futuros desarrollos que se realicen serán mejoras de los métodos de evaluación de los diferentes programas computacionales.

1.- Inicialmente se tiene planeado desarrollar una ruta de diferentes tipos de obstáculos y grados de dificultad, para lo cual se necesita diseñar una ruta que ponga a prueba los comandos elementales de los programas diseñados. Esto significa diseñar y modelar los diferentes grados de dificultad que sean necesarios para evaluar sustancialmente el desempeño de cada programa y contendrán diferentes niveles:

- 1) Radios de curvatura pequeños
- 2) Subidas y Bajadas de diferentes pendientes
- 3) Obstáculos de diferentes medidas

Para lo cual se planea desarrollar indicadores de desempeño de diferentes aspectos como los siguientes:

- a. Legibilidad, esto significa la facilidad de poder entrar el programa a partir de diferentes plataformas.
- b. Flexibilidad, esto significa hacer uso de diferentes módulos a partir de una cierta plataforma.
- c. Simplicidad, esto es el evaluado a través de la más pequeña cantidad de líneas de programación posible y está relacionado con la parte de portabilidad
- d. Eficiencia, medida como se logra completar una ruta con obstáculos incluidos
- e. Capacidad en tiempo real, esto significa que tan rápido es el tiempo de respuesta en relación a la acción del equipo se adapta a diferentes entornos

o por diferentes rutas para la evaluación del programa.

2.- Otro de los puntos importantes a tratar en futuros proyectos relacionados con este tema, es la posibilidad de generar sistemas modulares, de tal manera que el usuario pueda fácilmente elegir entre las diferentes opciones, equipos, accesorios, etc., justo a la medida de sus capacidades o posibilidades:

- i) Elegir entre diferentes sensores de proximidad.
- ii) Elegir entre diferentes capacidades de motor y Batería (Relación Peso potencia).
- iii) Elegir entre diferentes sistemas de reforzamiento mecánico y amortiguadores.
- iv) Elegir entre diferentes métodos de recibir las señales.

Con estos cambios se pretende abarcar diferentes mercados, desde los más exigentes como escuelas de educación superior, así como mercados alternos como escuelas tecnológicas y secundarias tecnológicas.

V. CONCLUSIONES

El campo de aplicación de este prototipo educacional está enfocado a ser una plataforma de desarrollo y aprendizaje basado en la práctica del control en tiempo real. En general puede ser de gran aportación al entendimiento del control autónomo a distancia. Puede ser también de gran ayuda en el desarrollo de mejoras de comunicación entre dos dispositivos a distancia que deban cumplir con acciones que tengan como objetivo resolver problemas de la vida cotidiana o de acciones específicas.

El objetivo principal de este prototipo es el de desarrollar habilidades en los alumnos de la carrera de Ingeniería en Mecatrónica del ITESCAM (Instituto Tecnológico Superior en el Estado de Campeche) para mejorar su aprendizaje en temas relacionados al control en tiempo real de vehículos autónomos no-holonomicos. Por lo que esta plataforma experimental es considerada como el punto de partida para

que el alumno desarrolle acciones que permitan la mejora del control mediante programación aditiva, es decir crear códigos de programación que mejoren el desempeño del vehículo para cumplir más y mejores tareas según sean las necesidades del alumno, y crear el diseño de trayectorias de vehículos autónomos no-holonomicos en diferentes ambientes.

Asimismo, este prototipo puede ser de gran ayuda debido a que puede implementarse como un “Kit de Diseño y Ensamble de un Vehículo Didáctico guiado por medio de un Aplicación de un Dispositivo Móvil” en otras instituciones de nivel superior del sistema tecnológico.

REFERENCIAS

- [1] Papcun, P. (2016). “Control and Teleoperation of Robot Khepera via Android Mobile Device through Bluetooth and WiFi”. *IFAC-Papers OnLine* 49-25, 188–193, 2016.
- [2] Dudek, G. (2010). *Computational principles of mobile robotics*. Cambridge University Press 2010.
- [3] Alexander, J. C. (1989). “On the Kinematics of Wheeled Mobile Robots”. *The International Journal of Robotics Research*, Vol. 8, No. 5, October 1989.
- [4] Camarena, G. Jo. F. (2009). *Análisis Cinemático Dinámico y Control en Tiempo Real de un Vehículo Guiado Automáticamente*. Tesis para obtener el grado de maestría en ciencias. Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico Departamento de Mecatrónica, Cuernavaca, Morelos, México, 2009.
- [5] Thrun, S. (2006). *Probabilistic Robotics*. MIT Press 2006.
- [6] Bermudez, G. (2003). *Modelamiento Cinemático y Odometrico de Robots Moviles, Aspectos matemáticos*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia, 2003.
- [7] Mago-González, A. J. (2006). *Implementación de una plataforma de simulación de esquemas de control para robots móviles con ruedas basada en Easy Java*. Informe final presentado como requisito parcial para optar al título

Acerca de Autores



Ramiro José González Horta recibió el grado de Arquitecto del Instituto Tecnológico de Acapulco en 1995. Es maestro en Administración de la Construcción por el instituto Tecnológico de la Construcción de la Cd. de México 2007. Es también candidato a Maestro en Ingeniería Mecatrónica por la Universidad Modelo Mérida Yucatán, 2018. Es también Coordinador del Programa Académico de Ingeniería Mecatrónica del Instituto Tecnológico Superior de Calkiní en el Estado de Campeche. Sus intereses de investigación son en el área de diseño, control e impresión 3D aplicado a la Robótica.



Jimer Emir Loría Yah recibió el grado de Ingeniero en la carrera de Ingeniería Mecánica del Instituto Tecnológico de Mérida; con número de cédula profesional 4912966 en el año de 2006. Es maestro en planificación de empresas y desarrollo regional, egresado del Instituto Tecnológico de Mérida; con número de cedula profesional 6613953 en el año de 2010. Es también Maestro en Ingeniería Mecatrónica, con número cédula profesional 11648300, egresado de la Universidad Modelo con clave 310073, en la ciudad de Mérida en el Estado de Yucatán, en el año de 2019. Sus intereses son la investigación y desarrollo tecnológico sustentable de la región, así como al modelado y simulación de sistemas electrónicos y mecánicos.



Miguel Ángel Cohuo Ávila nació en México, recibió el grado de maestría en Tecnologías de la información en 2008 por la universidad latino y el grado de doctor en sistemas

computacionales en 2015 por la Universidad del Sur ambos en la ciudad de Mérida Yucatán México. Actualmente se desempeña como Director Académico en el Tecnológico Nacional de México Campus Calkiní (ITESCAM). Es profesor de tiempo completo en el área de sistemas computacionales. Sus principales áreas de interés son métodos de investigación empírica en ingeniería de software, modelos de calidad, acreditaciones de programas educativos y ciencia de datos. Tiene el reconocimiento con perfil deseable hasta el año 2022 y pertenece como miembro del cuerpo académico en consolidación de ingeniería de software.



Yésica Alejandra Giraldo Tique. Estudiante en proceso de aceptación de tesis de ingeniería mecatrónica de la Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central en Bogotá, Colombia. Miembro estudiantil de la asociación profesional de IEEE donde actualmente lidera el comité de expansión y gestión de ramas estudiantiles del SAC Team de Sección Colombia. Sus investigaciones se enfocan en áreas de robótica e inteligencia artificial.



Alejo Mosso Vázquez recibió el grado de Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional (IPN) de México en 1975. Es maestro en ciencias con especialidad en Control por el CINVESTAV-IPN en México 1986. Es también maestro en ciencias en sistemas de la manufactura con especialidad en Robótica por el ITESM-UT (USA) en 1993. También obtuvo el grado de Doctor en Ingeniería y Ciencias Aplicadas en Cuernavaca Morelos, México en 2012 por el CIICAP-UAEM. Sus intereses de investigación son Programación Matemática aplicada a la Robótica Humanoide, Control Automático y Redes Neuronales – Deep Learning.