Diseño de móvil omnidireccional para desinfección de espacios cerrados.

Omnidirectional mobile design for disinfecting enclosed spaces.

Álvaro Hernández Sol (1).
Tecnológico Nacional de México campus Tuxtla Gutiérrez.
alvaro.hs@tuxtla.tecnm.mx.

Bruno Damián Gálvez Méndez* (2). Estudiante del Tecnológico Nacional de México campus Tuxtla Gutiérrez, L20270646@tuxtla.tecnm.mx.

Jerson Enrique Pérez Grajales (3). Estudiante del Tecnológico Nacional de México campus Tuxtla Gutiérrez, L20270383@tuxtla.tecnm.mx.

Raúl Moreno Rincón (4). Tecnológico Nacional de México campus Tuxtla Gutiérrez, raull.mr@tuxtla.tecnm.mx.

Rubén Herrera Galicia (5). Tecnológico Nacional de México campus Tuxtla Gutiérrez, ruben.hg@tuxtla.tecnm.mx.

Aldo Esteban Aguilar Castillejos (6). Tecnológico Nacional de México campus Tuxtla Gutiérrez, aldo.ac@tuxtla.tecnm.mx.

*corresponding author.

Artículo recibido en noviembre 27, 2025; aceptado en diciembre 16, 2025.

Resumen.

Este artículo presenta el proceso de desarrollo, diseño y construcción de un móvil omnidireccional con ruedas mecanum, además de un sistema de elevación//descenso de una lámpara UVC montado en la parte interna, todo controlado por medio inalámbrico (red WIFI autogenerada). Se programó en Arduino usando un microcontrolador ATMEGA 2560 y un ESP-CAM 32. El prototipo desarrollado presenta como ventaja principal una estructura mecánica sólida y eficiente para las pruebas básicas de control, Se desarrollo con la finalidad de realizar la desinfección de espacios contaminados por agentes patógenos (virus, bacterias y hongos) además para que alumnos de la licenciatura en electrónica y mecatrónica puedan utilizarlo en la aplicación de métodos de navegación y control robustos.

Palabras claves: Desinfección, lámpara UVC, modelo 3D, omnidireccional, ruedas mecanum.

Abstract.

This article presents the design and construction process of an omnidirectional mobile using mecanum wheels, in addition to internally mounted UVC lamp raising/lowering system, all controlled by wireless via a self-generated WI-FI network. It was programmed using an Atmega 2560 microcontroller and an ESP-CAM 32microcontroller. The developed prototype presents as its main advantage a solid and efficient mechanical structure for basic control tests. It was developed with the purpose of disinfecting spaces contaminated by pathogens (viruses, bacteria and fungi), in addition to allowing undergraduate students in electronics and mechatronics to use it in applying robust navigation and control methods.

Keywords: 3D model, disinfecting, mecanum wheels, omnidirectional, UVC lamp.

1. Introducción.

La persistencia en el tiempo de diversos microorganismos en superficies se ve influenciada por una combinación de factores intrínsecos y ambientales. La variabilidad en las características físicas de los microorganismos, junto con condiciones ambientales como humedad y temperatura, así como el tipo de materiales superficiales, desempeñan un papel crucial en la supervivencia y persistencia de estos agentes patógenos.

La limpieza y desinfección de superficies y ambientes interiores se ha convertido en un desafío crítico para la salud pública, exacerbado por la reciente emergencia sanitaria mundial (Motta-Ávila et al., 2022). Los microorganismos patógenos tienen la capacidad de transmitirse tanto por el aire como por contacto con superficies contaminadas, lo que resalta la necesidad de métodos de esterilización altamente efectivos, especialmente en entornos de alto riesgo como hospitales y centros de salud (Ordoñez García et al., 2021).

Las bacterias, generalmente, conservan su capacidad infecciosa durante períodos más extensos en comparación con los virus. En condiciones ambientales favorables, las bacterias pueden perdurar desde varios días hasta años en superficies diversas. Esta diferencia temporal tiene implicaciones importantes para la gestión de la higiene y la prevención de enfermedades, ya que la longevidad de los microorganismos en las superficies puede afectar directamente la propagación y transmisión de enfermedades infecciosas.

En este contexto, se observa que los microorganismos tienden a sobrevivir por períodos más prolongados en superficies duras y lisas en comparación con aquellas que son blandas y porosas. Esta diferencia en la persistencia puede atribuirse a la capacidad de los microorganismos para adherirse y encontrar condiciones más propicias para su supervivencia en sustratos sólidos y no porosos.

Tradicionalmente, la desinfección se ha basado en métodos químicos, pero estos pueden implicar el manejo de sustancias tóxicas o corrosivas, además de requerir tiempo y mano de obra considerable. En respuesta a estas limitaciones, la tecnología de luz ultravioleta C (UVC) ha emergido como una solución eficaz y segura, capaz de inactivar un amplio espectro de microorganismos, incluyendo bacterias y virus, al dañar su material genético (ADN y ARN). Este es un proceso físico que elimina la necesidad de productos químicos peligrosos.

La exposición a las longitudes de onda germicidas de la luz UV impide la capacidad de reproducción e infección de bacterias, virus y protozoos. Se ha comprobado la eficacia de la luz UV contra patógenos responsables de enfermedades como el cólera, la polio, la fiebre tifoidea y la hepatitis, ofreciendo una solución integral frente a diversas enfermedades bacterianas, virales y parasitarias.

La integración de la robótica móvil con la desinfección UVC ofrece una propuesta innovadora para automatizar y optimizar estos protocolos, garantizando una cobertura y eficiencia superiores a los métodos manuales (Quispe Ramos, 2022). Estos robots autónomos pueden navegar por entornos predefinidos, como salas de cuidados intensivos o salones de clase, y aplicar la dosis de radiación UVC necesaria sin exponer al personal humano a los riesgos asociados con la radiación ultravioleta.

El presente artículo describe el diseño e implementación de un robot móvil de desinfección con lámpara UVC, centrándose en su sistema de ubicación en el entorno a desinfectar vía remota, para reducir el factor de riesgo en el uso de la luz UVC durante el proceso de erradicación de patógenos en superficies contaminadas. La investigación realizada busca validar un prototipo capaz de realizar protocolos de desinfección en espacios cerrados, contribuyendo a la seguridad y bienestar en áreas de alta afluencia (Otálora Riaño, 2020).

El diseño mecánico, electrónico y la teoría de control son diciplinas que se conjuntan para el desarrollo de robots móviles. (Barrientos, 2007). En dichas disciplinas se deben tener conocimientos de los diferentes elementos

tecnológicos usados en el diseño y construcción de los robots, tales como materiales, medio de locomoción, sensores, actuadores, microcontroladores y métodos de control.

Como dice Hernández (2023), la decisión de qué tipo de locomoción utilizar depende de varios factores como lo son: la maniobrabilidad (facilidad en el manejo del robot), controlabilidad (relacionada con las posibles trayectorias que el robot pueda seguir), tracción (tipo de suelo), capacidad de subir pendientes, estabilidad (estabilidad estática y dinámica), eficiencia (tracción vs consumo), mantenimiento y alimentación (batería, gasolina, etc.) e impacto ambiental (motores eléctricos, motores de gasolina, etc.).
En la construcción del robot omnidireccional para desinfección de espacios cerrados se construyó una estructura robusta basada en perfiles de aluminio, además del diseño de un sistema de elevación / descenso de la lampara UVC. Se diseño la tarjeta de control usando un ATMEGA 2560, además del uso de una tarjeta ESP-CAM 32.

2. Métodos.

La cinemática de un móvil con ruedas Mecanum describe la relación matemática entre las velocidades de cada rueda y el movimiento resultante del robot (velocidad lineal en los ejes X, Y y velocidad angular alrededor del eje Z). Considerando que los robots con ruedas Mecanum logran un **movimiento omnidireccional** gracias a la orientación de 45° de los rodillos en cada rueda. Figura 1.

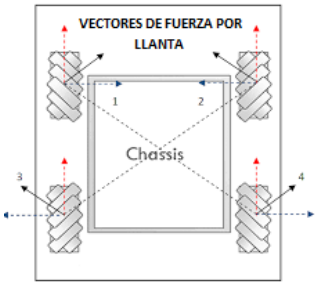


Figura 1. Chasis de robot omnidireccional con llantas mecanum.

El movimiento **Omnidireccionalidad de**l robot (hacia adelante/atrás, de lado, giro en su propio eje o mientras se desplaza) se logra con la combinación de diferentes velocidades y direcciones de giro en cada una de las cuatro ruedas. Al realizar la suma de los vectores de fuerza generados por cada una de las cuatro llantas es lo que permite el movimiento resultante en cualquier dirección.\

Todo el control de dirección de la estructura esta basado en la **Cinemática Directa e Inversa, se usa una o la otra para determinar** la velocidad y orientación general del robot a partir de las velocidades individuales de sus ruedas. O bien determina qué velocidades debe tener cada rueda para lograr un movimiento deseado del robot (Santiago, 2009).

Para un robot con cuatro ruedas Mecanum, el modelo cinemático inverso permite calcular las velocidades angulares $(\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4)$ de cada rueda (generalmente etiquetadas como frontal izquierdo, frontal derecha, trasera izquierda, trasera derecha) necesarias para alcanzar una velocidad lineal deseada en el plano (V_x, V_y) y una velocidad angular de rotación (ω_z) del chasis.

Las ecuaciones simplificadas para las velocidades de las ruedas, asumiendo un robot simétrico con distancia L del centro a las ruedas a lo largo del eje X y W a lo largo del eje Y, y un radio de rueda R, son (las constantes k_1, k_2, k_3 representan combinaciones de L, W, R y están sujetas a la configuración específica 'A' o 'B' de las ruedas):

$$\omega_1 \text{ (Rueda delantera izquierda)} = k_1 V_x + k_2 V_y + k_3 \omega_z$$
$$\omega_2 \text{ (Rueda delantera derecha)} = k_1 V_x - k_2 V_y - k_3 \omega_z$$
$$\omega_3 \text{ (Rueda trasera izquierda)} = k_1 V_x - k_2 V_y + k_3 \omega_z$$

$$\omega_4 \text{ (Rueda trasera derecha)} \quad = k_1 V_x + k_2 V_y - k_3 \omega_z$$

Diseño mecánico.
El diseño y modelado de la base estructural del móvil omnidireccional se realizó considerando las dimensiones mínimas en las cuales la lampara UVC pudiera estar protegida dentro del robot por lo que se siguió un procedimiento para adaptarlo a estas medidas.

Móvil Omnidireccional con llantas mecanum.
Para la estructura de la base se optó por usar 8 perfiles de aluminio en ángulo de 30x30mm perforado con un largo de 444.5 mm, con los cuales se construyó 2 cuadros: uno para la parte inferior y otro para la parte superior, más 4 perfiles, también de aluminio tipo C perforados, con dimensiones de 444.5mm de largo por cada arista vertical que fungen como columnas que unen los 2 cuadros antes descritos. Figura 2.

Figura 2. Estructura de soporte del robot omnidireccional

Se utilizaron soportes metálicos para cada motorreductor Modelo NFP-5840-31ZY 12V_40 rpm en donde se montaron las llantas mecanum de 4” (Figura 3).

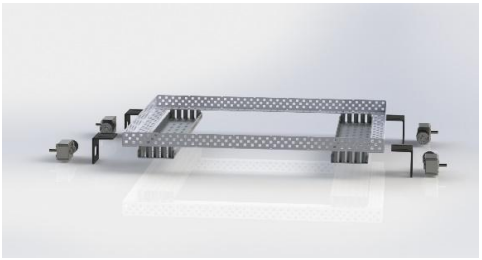


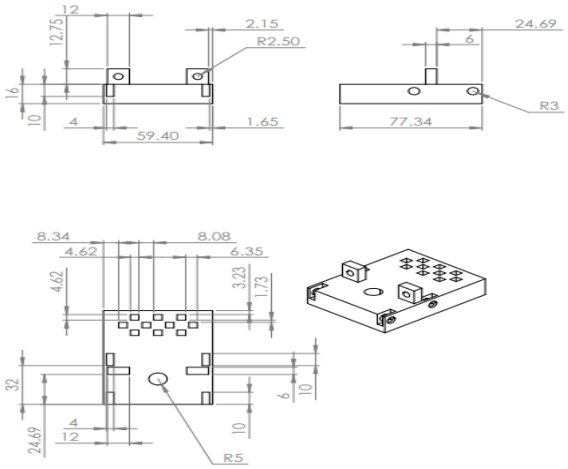
Figura 3. Soportes metálicos y motores en la estructura del móvil omnidireccional.

En la figura 4 se muestra el diseño del sistema de elevación/descenso del soporte de la lampara UVC

Figura 4. Sistema de elevación/descenso diseñado en SOLIDWORKS.

Para poder acoplar este sistema de elevación/descenso con la estructura base, se tuvieron que diseñar e imprimir piezas con PLA, de soporte tanto para la parte inferior del sistema como para la parte superior. Figura 5

a)



b)

Figura 5. Diseño Mecánico. a) Abrazaderas inferiores. b) Soporte superior del sistema de elevación.

En la figura 6 podemos ver el diseño completo del sistema de elevación/descenso

Figura 6. Sistema de elevación completo.

En la figura 7 se presenta la ubicación de todos los elementos para la comunicación, control y adquisición de datos: Microcontrolador ATMega 2560, batería litio 12v 10MAh, módulos puente h L298N, modulo bluetooth HC-05, Driver Motor A Pasos Tb6600 y elementos eléctricos de protección. El robot se cubrió con panel de aluminio, de 6mm de grosor, en cada una de las superficies, por lo que se procedió a diseñar dichas cubiertas.

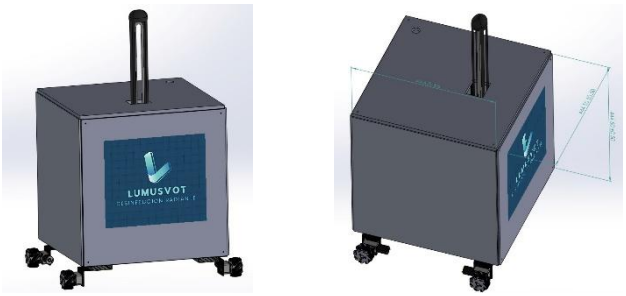


Figura 7. Diseño y ensamble de paneles de aluminio.

3. Desarrollo.

Una vez establecido el diseño mecánico, se procedió a la construcción del prototipo, empezando con la construcción de la estructura del móvil omnidireccional, con herramientas de corte para la adaptación de tamaños de los perfiles de aluminio y su posterior fijación para conformar las estructuras donde se colocarán los elementos restantes, Figura 8.

Figura 8. Construcción de la estructura del móvil omnidireccional.

Para continuar con la construcción del sistema de elevación/descenso de la lampara UVC, figura 9.

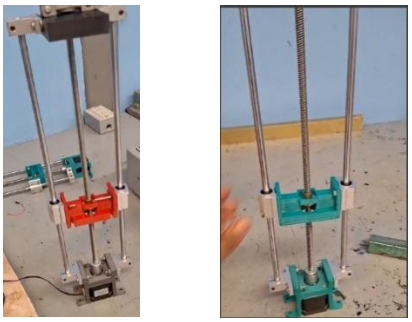


Figura 9. Proceso de construcción del sistema de elevación.

Continuación del proceso, en la figura 10 se observa el proceso de implementación de los elementos mecánicos, eléctricos y de monitoreo/control.

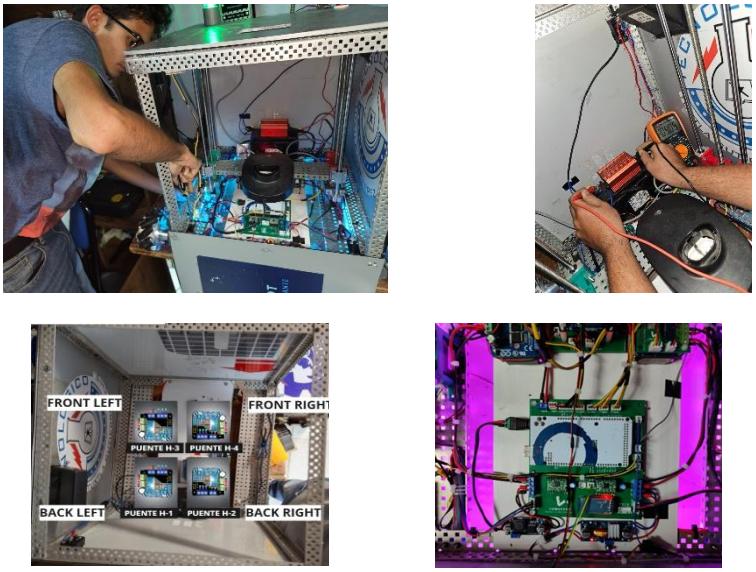


Figura 10. Implementación de los elementos mecánicos, eléctricos y de monitoreo/control.

Una vez implementado los elementos mencionados anteriormente, se procede a recubrir el móvil omnidireccional con panel de aluminio con sus medidas correspondientes, además de realizar el conexionado (figura 11) adecuado de cada elemento eléctrico/mecánico.

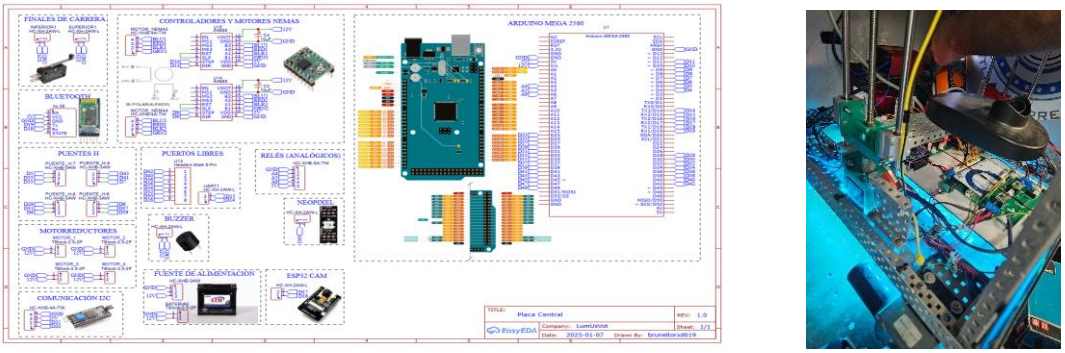
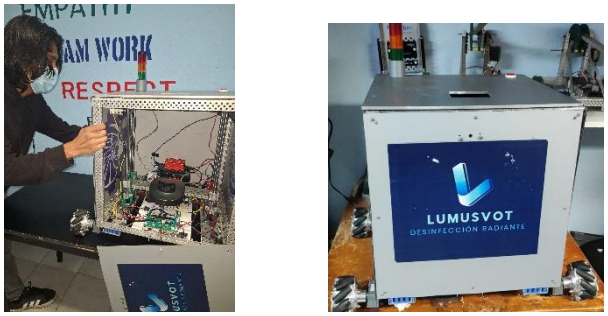


Figura 11. Conexiones eléctricas de los elementos de comunicación y control.

En la figura 12 se puede ver el robot móvil omnidireccional, con llantas mecanum, para desinfección de espacios cerrados terminado, listo para empezar a programarlo.



a)

b)

Figura 12. Proceso final. a) Recubrimiento del móvil. b) Móvil omnidireccional con todos los elementos implementados.

Programación.

Como parte del proyecto se desarrolló el programa de control de movimientos básicos, tanto movimientos básicos del robot omnidireccional (adelante, atrás, giro derecho, giro izquierdo, lateral derecha, lateral izquierda) como los movimientos de elevación y descenso del soporte e la lampara UVC (Figura 13). La programación se elaboró en el IDE de Arduino, configurando un dispositivo inalámbrico bluetooth instalado en el móvil omnidireccional.

Figura 13. Programación del control de movimientos móvil omnidireccional.

Para realizar las pruebas de funcionamiento de todos los movimientos que puede realizar el robot se utilizó una app desarrollada en APPInventor denominada CONTROL_BT.

En la figura 14 se observa la pantalla final de la aplicación, que incluye todos los botones necesarios para controlar los movimientos programados en el móvil.

Figura 14. Interfaz final de la apk.

Resultados.

Como parte del diseño del robot se obtuvo el dibujo técnico final de todo el móvil omnidireccional con llantas mecanum con su sistema de elevación de lampara UVC usando la herramienta Drawings de SolidWorks, y se tomaron a consideración las modificaciones y correcciones finales en la colocación de elementos, con un margen de error de ±1% en las dimensiones.

Todas las medidas fueron establecidas con el estándar CGS (centímetro, gramo, segundo), obteniendo una dimensión final del montaje de 94.5cm x 94.5 cm para la base y una altura variable de 114.5 cm (lampara oculta) o de 144.5 cm (con la lampara extendida).

También se construyó un móvil robusto y versátil que al realizar la pruebas se encontró que cumplía con todas las características propuestas en el proyecto (figura 15).

Figura 15. Vistas de robot construido.

Discusión.

Se diseñó y construyo un robot móvil omnidireccional con llantas mecanum, el cual cuenta con una lampara de 38 Watts UVC integrada que puede protegerse dentro del móvil, que puede realizar su traslación en cualquier dirección, cambiando su dirección o moviéndose de forma lateral o en diagonal, a diferentes velocidades al utilizar como medio de locomoción llantas mecacum de 6 pulgadas. Pudiendo la lampara extenderse a una altura de 120 cm, con lo cual se puede abarcar una superficie de 1 metro de alto fácilmente.

Se realizaron diferentes movimientos programados por medio de una app instalada en un celular. Comprobando que el robot realiza los movimientos predeterminados de manera fluida, logrando una buena repetitividad, aunque se

encontró que los soportes metálicos ubicados en la parte inferior del chasis tuvieron unos detalles al momento de estas pruebas, y se tuvieron que modificar para evitar que las llantas se inclinaran.

De la misma manera, el sistema de elevación/descenso de la lampara, se tuvieron que realizar varias adecuaciones para lograr un funcionamiento adecuado a la necesidad, y aunque el tiempo de elevación y de descenso es lento, esto no influiría en el funcionamiento general del robot desinfectante.

Estos errores se han venido corrigiendo durante este 2025, concluyendo que dichos soportes lo mejor es sujetarlos sobre un perfil tubular para incrementar su rigidez y mejorar la posición de los motores y de la caja de engranes.

Créditos.

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México y las facilidades del Tecnológico Nacional de México campus Tuxtla Gutiérrez para la realización de este trabajo.

Referencias bibliográficas.

Barrientos, A. Peñin, L.F. 2007. *Fundamentos de robótica*. Madrid, España: McGraw Hill.

Hernández, A; Lopez, ; Garcia, O; 2023. Sistema de Control de Movimiento de Móvil con Tracción Basada en Llantas Mecanum. Congreso Internacional de Investigación Academia Journals Puebla TecNM 2023.

Motta-Ávila, C. A., Flores-Sánchez, M. G., & Hernández-Vargas, J. A. 2022. Robot terrestre autónomo auxiliar en la desinfección o sanitización de interiores mediante luz UV-C. *Memorias del Concurso Lasallista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, *8*(1), 38-39. https://doi.org/10.26457/mclidi.v8i1.3153

Ordoñez García, J. E., Salvatierra Bravo, L. F., & Cagua Quiñonez, C. I. (2021). Uso de la robótica como medio para la esterilización y desinfección con luz ultravioleta en el contexto del COVID-19. *RECIMUNDO*, *5*(especial 1), 68-77. dialnet.unirioja.es

Quispe Ramos, C. M. 2022. *Robot UVC para desinfección hospitalaria - Ultravioleta* [Presentación]. Scribd. https://fr.scribd.com/presentation/689805541/Robot-movil-de-desinfeccion-con-luz-UVC

U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2015). *Folleto informativo de tecnología de aguas residuales: Desinfección con luz ultravioleta* (EPA 832-F-99-064).

Información de los autores.

Álvaro Hernández Sol, es Ingeniero en electrónica, egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez ITTG, en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Es profesor de tiempo completo en el área de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez y es investigador desde 1997. Certificado en SolidWorks Associate. Jefe de proyectos de investigación de ingeniería electrónica desde el 2001. Fundo y asesora el Club de robótica “Engineers Bots” del ITTG”. Colabora en la línea de investigación de “Robótica” de Ingeniería electrónica. Dirige el área de trabajo en “Robótica“ y es parte del cuerpo académico “sistemas de

control inteligentes". Ha realizado investigaciones en el área de los sistemas alternativos de comunicación y en sistemas robóticos, Así como en sistemas traductores de lenguaje.

Bruno Damián Gálvez Méndez, estudiante del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, pasante de la carrera ingeniería electrónica con especialidad en mecatrónica, cuenta con la certificación CSW de solidworks, tiene como campos de interés: diseño, modelado y animación en 3D, programación, robótica.

Jerson Enrique Pérez Grajales, estudiante del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, pasante de la carrera ingeniería electrónica con especialidad en mecatrónica, cuenta con la certificación CSW de solidworks, tiene como campos de interés: Diseño, modelado en 3D, automatización, construcción de prototipos electromecánicos.

Raúl Moreno Rincón, Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica, egresado de la ESIME-IPN, en la ciudad de México, D.F. Maestro en Ciencias en Ingeniería Electrónica egresado del Instituto Tecnológico de Toluca. Maestro en Educación Superior por la Universidad Autónoma de Chiapas. Certificado en SolidWorks Associate. Es profesor de tiempo completo en el área de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez y Jefe de Proyectos de Docencia de Ingeniería Electrónica. Es investigador desde 1999 y Colabora en la línea de investigación "Robótica" de Ingeniería electrónica y es parte del cuerpo académico en formación "sistemas de control inteligentes". Ha realizado proyectos como: Sistema de alarma para personas con deficiencia auditiva basado en XBEE, robot de cafetería, araña hexápoda, sistema de control de animatronic, entre otros.

Rubén Herrera Galicia, obtuvo el título de doctor en ciencias técnicas con especialidad en electrónica por la Technical University of Warsaw, Polonia. Es profesor de tiempo completo adscripto al departamento de ingeniería eléctrica y electrónica del Tecnológico

Nacional de México campus Tuxtla Gutiérrez. Es investigador desde 1985 y colabora en la línea de investigación de “Robótica” de Ingeniería electrónica. Es parte del cuerpo académico “sistemas de control inteligentes”.

Aldo Esteban Aguilar Castillejos, obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Ing. Mecatrónica en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez (ITTG) en el 2011 y el título de Ingeniero en Electrónica en el mismo Instituto, con especialidad en Instrumentación y Control. Cuenta con la certificación CSWA, CSWP, CSWP Avanzado de SolidWorks; así como un Diplomado en el motor de desarrollo de videojuegos UNREAL, Diplomado en Microsoft Teams y Diplomado en competencias para la enseñanza de las ciencias. Acreedor al premio de desempeño a la excelencia EGEL 2018 y Miembro del Colegio de Ingenieros Mecánicos y Electricistas del Estado de Chiapas. Ha participado en el desarrollo de proyectos de investigación (PEI Conacyt) para empresas privadas, desarrollo de patentes con desarrollos tecnológicos en el Estado de Chiapas y fue parte del cuerpo de investigación de la Universidad del Valle de México Campus Tuxtla hasta el 2022. Actualmente es parte del cuerpo académico en formación “Sistemas de control inteligentes” del I.T.T.G. con desarrollos de proyectos financiados por CONACyT y el TecNM. Con campos de interés en: dispositivos opto-mecatrónicos, manufactura, sensores de fibra óptica, instrumentación y control.