

Diseño de móvil omnidireccional con brazo robótico de 3 grados de libertad.

Design of omnidirectional mobile with a 3 degrees of freedom robotic arm.

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

Leobardo Antonio Utrilla Hernández* (2). Estudiante I. T. de Tuxtla Gutiérrez, L19270659@tuxtla.tecnm.mx.

Jesús Alberto Santeliz Alvarado (3). Estudiante I. T. de Tuxtla Gutiérrez, L19270689@tuxtla.tecnm.mx.

Raúl Moreno Rincón (4). I. T. de Tuxtla Gutiérrez, raul.mr@tuxtla.tecnm.mx.

Osbaldo Ysaac García Ramos (5). I. T. de Tuxtla Gutiérrez, osbaldo.gr@tuxtla.tecnm.mx.

Rubén Herrera Galicia (6). I. T. de Tuxtla Gutiérrez, ruben.hg@tuxtla.tecnm.mx.

*corresponding author.

Artículo recibido en noviembre 30, 2023; aceptado en diciembre 14, 2023.

Resumen.

Este artículo presenta el proceso de desarrollo, diseño y construcción de un móvil omnidireccional utilizando ruedas mecanum, además de un brazo robótico de 3 grados de libertad montado en la parte superior, todo controlado por medio inalámbrico (Bluetooth). Se programó en Arduino usando un microcontrolador Arduino Mega 2560. El prototipo desarrollado presenta como ventaja principal una estructura mecánica sólida y eficiente para las pruebas básicas de control. Se desarrolló con la finalidad de transportar objetos de un lugar a otro, además de instrumentar un móvil que alumnos de la licenciatura en electrónica puedan utilizar en la aplicación de métodos de navegación y control robustos.

Palabras claves: Grados de libertad, modelo 3D, omnidireccional, ruedas mecanum.

Abstract.

This article presents the development, design and construction process of an omnidirectional mobile using mecanum wheels, in addition to a 3 degrees of freedom robotic arm mounted on the top, all controlled by wireless means (Bluetooth). It was programmed in Arduino using an Arduino Mega 2560 microcontroller. 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 transporting objects from one place to another, in addition to instrumenting a mobile that students of the degree in electronics can use in the application of robust navigation and control methods.

Keywords: 3D model, degrees of freedom, mecanum wheels, omnidirectional.

1. Introducción.

La Robótica siempre ha ofrecido al sector industrial un excelente compromiso entre productividad y flexibilidad, una calidad uniforme de los productos, una sistematización de los procesos y la posibilidad de supervisar y/o controlar las plantas según diferentes parámetros y criterios (Santiago, 2009). Se pueden destacar cuatro ventajas principales de los sistemas robotizados: aumento de la productividad, alta flexibilidad, excelente calidad y mejora de la seguridad. Como resultado, la robotización permite mejorar la calidad y las condiciones de trabajo, sustituyendo tareas penosas por otras que se efectúan en condiciones mucho más ventajosas. Pero, además, la irrupción de la automatización en los servicios y el ocio permite mejorar la calidad de vida de los ciudadanos (Bambino, 2008).

En la publicación de revista de robot (2023) se menciona que un robot móvil es un sistema con tecnología robótica destinado a transportar múltiples materiales o cargas de manera totalmente autónoma, además son empleados en los procesos logísticos, ya sea en un almacén automatizado o perfectamente integrados en las líneas de producción de una fábrica. La eficiencia y capacidad de adaptación a las necesidades del cliente ha permitido a los robots móviles expandirse fuera del sector industrial y adentrarse con total naturalidad en el sector servicios, en donde ahora podemos verlos en hospitales, oficinas o restaurantes.

Así mismo, la adquisición de equipos robóticos móviles didácticos es difícil debido a sus precios elevados. Uno de los robots móviles para educación e investigación más reconocido es desarrollado por la empresa KUKA® en el 2010, con el robot manipulador industrial de 5 grados de libertad más una pinza mecánica, el robot está montado sobre una plataforma móvil omnidireccional; el sistema completo es conocido como youBot®. Rivero en el 2021 presenta un trabajo de fin de carrera donde muestra cómo realizar la simulación de un robot KUKA® sobre un youbot®.

La robótica móvil involucra varias disciplinas: el diseño mecánico, el diseño electrónico y la teoría de control entre otras. (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, sensores, actuadores, microcontroladores y métodos de control.

Los robots móviles más representativa de acuerdo con su sistema de locomoción son: con ruedas/cintas de desplazamiento (diferencial, síncrona, triciclo, ackerman, omnidireccionales y orugas) y con patas (bípedos, cuadrúpedos, hexápodos, etc.) (Barrientos, 2007, Ollero, 2001).

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 didáctico con brazo se construyó una estructura robusta basada en perfiles de aluminio, además del diseño de piezas para el brazo robótico en PLA. Se diseñó la tarjeta de control usando un ATMEGA 2560, además del uso del giroscopio MPU5060.

2. Métodos.

En el caso de un manipulador de 3 grados de libertad como en la figura 1, se puede ver que las variables q_1 , q_2 y q_3 se refieren a la posición de cada articulación del brazo robótico (Kelly, 2003). Esta posición de la articulación demuestra la posición (angular o lineal), dependiendo de la definición del marco de referencias seleccionado.

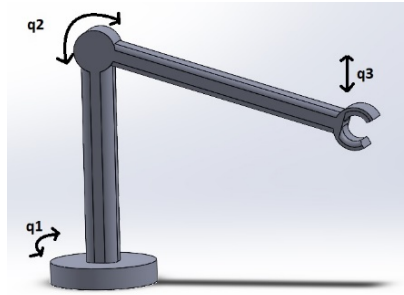


Figura 1. Grados de libertad.

Para el cálculo analítico a realizar se pueden agrupar de forma vectorial de la posición articular \mathbf{q} .

$$\mathbf{q} = \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \end{bmatrix}$$

La posición de la articulación \mathbf{q} y la velocidad $\dot{\mathbf{q}} = \frac{d}{dt} \mathbf{q}$ (derivada temporal), se miden usando sensores convencionales colocados en cada una de las articulaciones del brazo.

En cada articulación el brazo debe contar con un actuador, electromecánico, neumático o hidráulico. Que generan las fuerzas que se transforman en movimiento de cada articulación, y como consecuencia se da el movimiento del manipulador para alcanzar una posición buscada. Entonces se pueden agrupar las fuerzas y ares generado por los actuadores del brazo en una vector $\boldsymbol{\tau}$.

$$\boldsymbol{\tau} = \begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \\ \tau_3 \end{bmatrix}$$

El proceso para lograr el diseño y construcción de este móvil omnidireccional se llevó a cabo mediante fases de desarrollo establecidas claramente para el cumplimiento de cada elemento fundamental del prototipo, las cuales fueron:

- Móvil omnidireccional con llantas mecanum.
- Brazo robótico de 3 grados de libertad.
- Programación.

Diseño mecánico.

El diseño y modelado de la base estructural del móvil omnidireccional se realizó con procedimientos similares, pero adaptando las medidas correspondientes para los elementos estructurales y electrónicos.

Móvil Omnidireccional con llantas mecanum.

Para la estructura de la base se optó por perfil de aluminio estructural 20x20 con V-Slot con las medidas correspondientes mostradas en la figura 2.

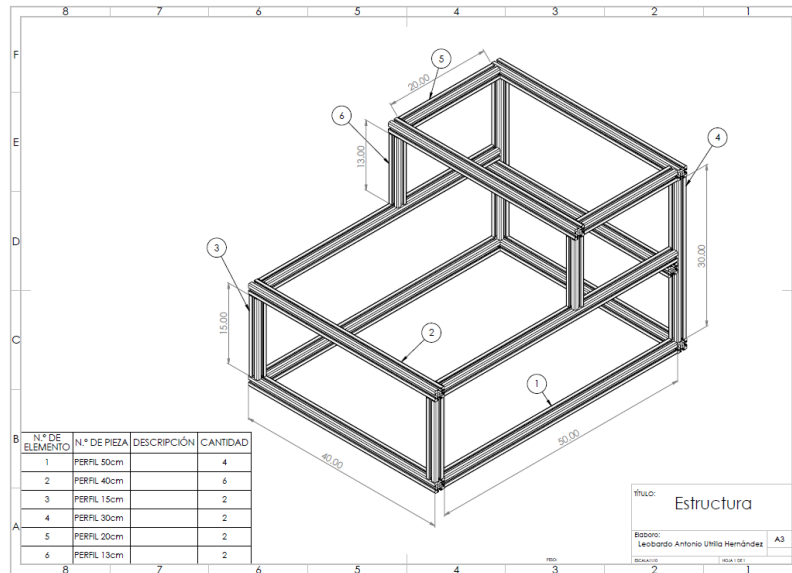


Figura 2. Dibujo técnico de la estructura del móvil omnidireccional.

Se diseñaron soportes impresos en 3D con filamento PLA para cada motorreductor Model NFP-5840-31ZY 12V_40 rpm en donde se montaron las llantas mecanum de 6" (figura 3).

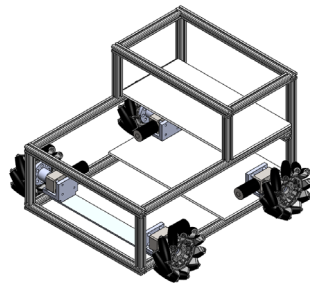


Figura 3. Componentes mecánicos y motores en la estructura del móvil omnidireccional.

En la figura 4 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.

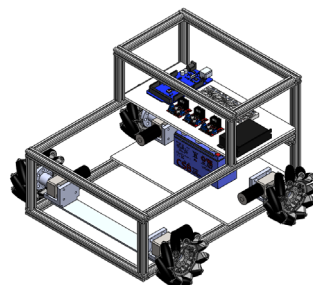


Figura 4. Diseño y ensamble de componentes de comunicación, control y adquisición.

Brazo robótico 3 grados de libertad.

Tomando como base el diseño de un brazo robótico de 2 grados de libertad desarrollado por la compañía VEX ROBOTICS se procedió a montarlo sobre una base giratoria (tercer grado de libertad), se tomó de referencia para realizar el diseño de base en 3D.

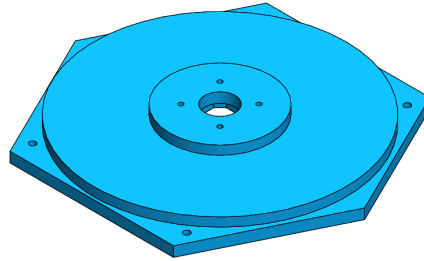


Figura 5. Caja de engranes planetarios rectos para soporte del brazo robótico.

En la figura 5 se muestra el diseño de una caja de engranes planetarios rectos que se montó sobre el eje de un motor Nema 17, se utilizaron 6 ruedas locas metálicas y una base circular de acrílico de $\varnothing 30$ cm y 6mm de grosor, los cuales fueron acoplados con tornillos de M4x1.5" (figura 6).

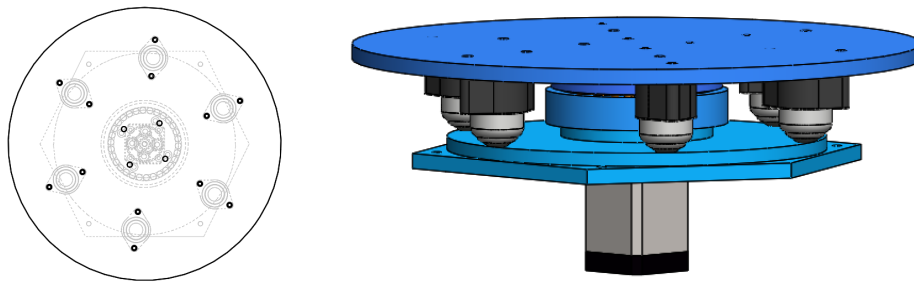


Figura 6. Diseño de la base del brazo robótico de 3 grados de libertad.

Una vez diseñada la base se inició el proceso de diseño del brazo robótico, figura 7, usando perfiles de aluminio tipo C de 1x1x25, tipo C 1x1x35, tipo barra 1x25, motores VEX de dos hilos 393, cadena porta cables y un juego de engranes para obtener un torque adecuado al subir y bajar el brazo robótico, además de la garra sujeta al final del brazo robótico.

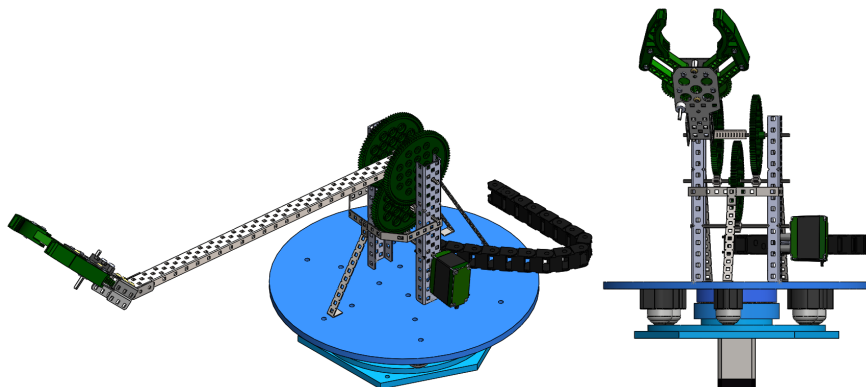


Figura 7. Elementos mecánicos y eléctricos del brazo robótico de 3 grados de libertad.

Con el diseño del brazo de 3 grados de libertad completo se procede a montarlo en la parte superior delantera del móvil omnidireccional, quedando como se muestra en la figura 8.

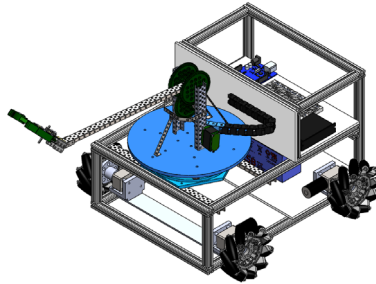


Figura 8. Ensamble del brazo robótico de 3 grados de libertad al móvil omnidireccional.

El robot debe estar cubierto por panel de aluminio, de 6mm de grosor, en cada una de las superficies, por lo que se procedió a diseñar dichas cubiertas, quedando como se muestra en la figura 9.

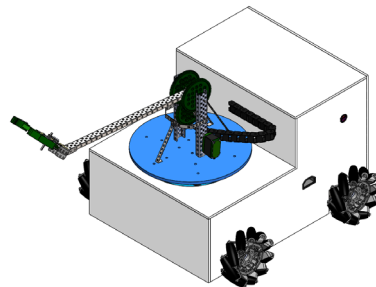


Figura 9. Ensamble con el recubrimiento del móvil omnidireccional.

Para finalizar el diseño del robot omnidireccional con brazo robótico de 3 grados de libertad, se implementó el ensamble del prototipo completo y el interruptor on/off y centro de carga. La renderización del prototipo se presenta en la figura 10.

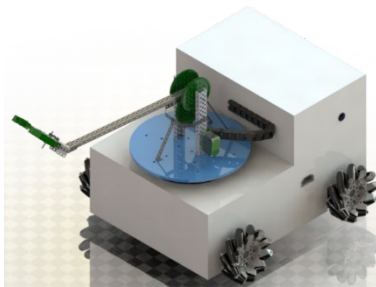


Figura 10. Diseño renderizado del móvil omnidireccional con brazo robótico de 3 grados de libertad.

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 11.

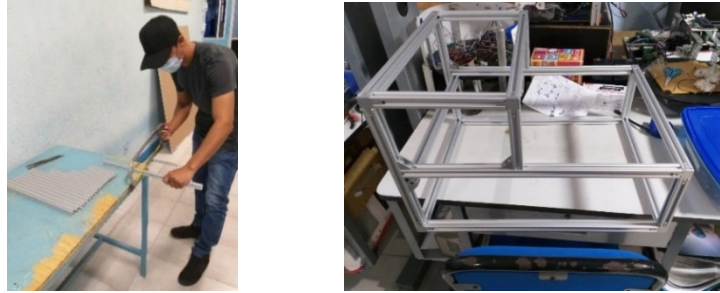


Figura 11. Proceso de construcción de la estructura del móvil omnidireccional.

Para continuar con la construcción de la caja de engranes y el ensamble del brazo robótico de 3 grado de libertad, figura 12.



Figura 12. Proceso de construcción del brazo robótico de 3 grados de libertad.

Continuación del proceso, en la figura 13 se observa el proceso de implementación de los elementos mecánicos, eléctricos y de monitoreo/control.



Figura 13. 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 14-15) adecuado de cada elemento eléctrico/mecánico y montaje del brazo robótico de 3 grados de libertad.

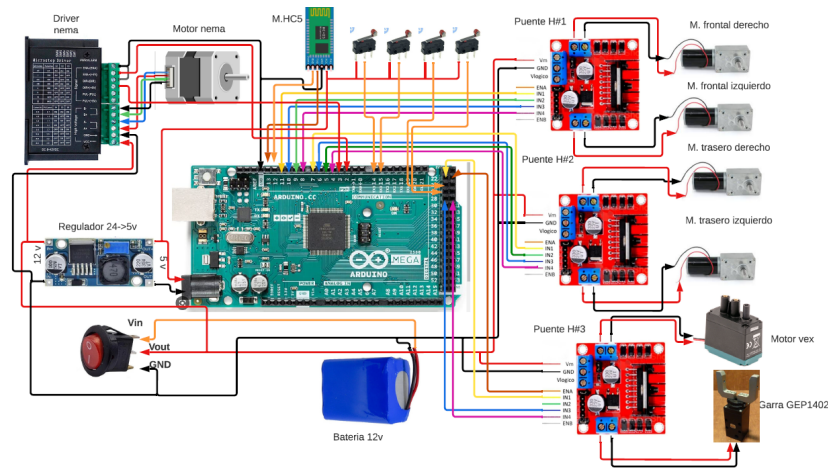


Figura 14. Diagrama de conexiones eléctricas realizado en Lucid Chart versión online.



Figura 15. Conexiones eléctricas de los elementos de comunicación y control.



Figura 16. Proceso final del recubrimiento y montaje del brazo robótico de 3 grados de libertad.

En la figura 17 se puede ver el robot móvil omnidireccional, con llantas mecanum y brazo de 3 grados de libertad terminado, listo para empezar a programarlo.



Figura 17. Móvil omnidireccional con 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 movimientos básicos del brazo robótico de 3 grados de libertad (abrir-cerrar garra), subir -bajar brazo y giro sentido-giro sentido contrario de manecillas del reloj. La programación se elaboró en el IDE de Arduino, configurando un dispositivo inalámbrico bluetooth instalado en el móvil omnidireccional, figura 18.



Figura 18. Programación para el control de los tres grados de libertad del brazo robótico de 3 grados de libertad y movimientos del móvil omnidireccional.

Para realizar las pruebas de funcionamiento de todas las funciones que puede realizar el robot se utilizó una app denominada APK ANDROID-BLUETOOTH CONTROLLER.

Como primer paso para usar esta app se configura el bluetooth que usara la aplicación como medio de comunicación para controlar el móvil omnidireccional (figura 19).



Figura 19. Selección del nombre bluetooth.

En la figura 20 se observa la pantalla final de la aplicación, que incluye todos los botones necesarios para controlar los movimientos programados en el móvil.



Figura 20. Interfaz final de la apk.

Resultados.

Como parte del diseño del robot se obtuvo el dibujo técnico final de todo el móvil omnidireccional con un brazo robótico de 3 grados de libertad 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 $\pm 1\%$ en las dimensiones.

Todas las medidas fueron establecidas con el estándar CGS (centímetro, gramo, segundo), obteniendo una dimensión final del montaje de $\varnothing 30$ cm, 18.73 cm x 56.08 cm para la base y brazo robótico y de 55.2 cm x 54.66 cm del móvil omnidireccional, datos que se incluyen de manera general en las figuras 21-22.

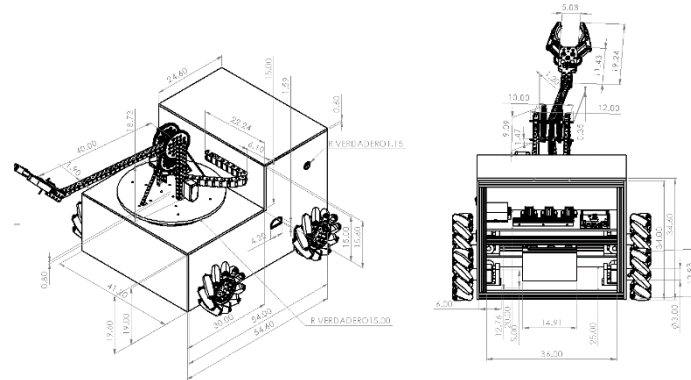


Figura 21. Vistas de dibujo técnico (dimensiones) del móvil omnidireccional con un brazo robótico de 3 grados de libertad.

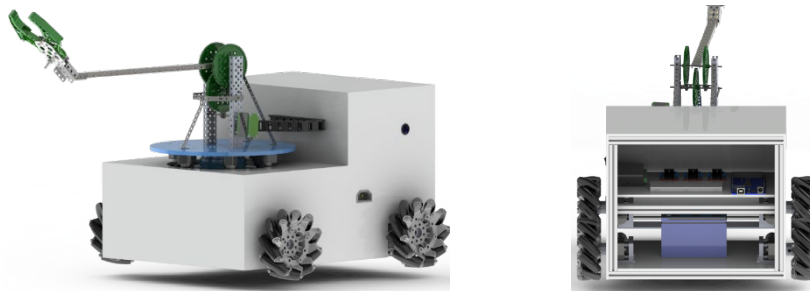


Figura 22. Diseño 3D renderizado del móvil omnidireccional con brazo robótico de 3 grados de libertad.

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 23).

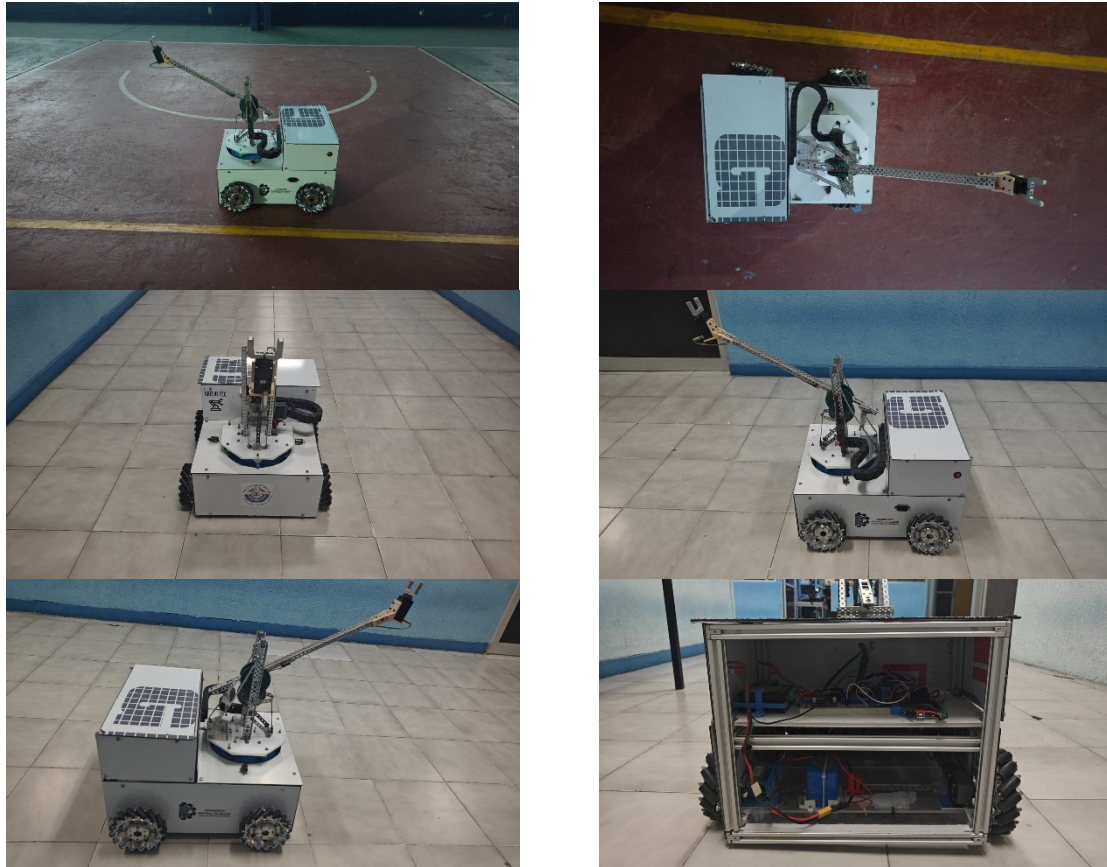


Figura 23. Vistas de robot construido.

Conclusiones.

Se diseñó y construyó un robot móvil omnidireccional con llantas mecanum, el cual cuenta con un brazo robótico de 3 grados de libertad, que puede realizar su traslación en cualquier dirección, cambiando su dirección o moviéndose de forma lateral o en diagonal, esto como resultado de usar llantas mecanum de 6 pulgadas. Mientras que el brazo robótico, puede girar $\pm 90^\circ$ a partir de la posición frontal del móvil, además de elevar su brazo principal de -45° hasta los $+90^\circ$ a partir de la horizontal y que cuenta con un manipulador tipo garra de dos dedos que permite sujetar objetos de hasta 15 cm de diámetro.

Se realizaron múltiples pruebas de los diferentes movimientos programados por medio de una app instalada en un celular. Comprobando que el robot realiza dichos movimientos con una buena repetitividad, aunque se encontró que los soportes diseñados para las llantas tuvieron unos detalles al momento de estas pruebas, y se tuvieron que modificar para evitar que las llantas se inclinaran.

El sistema a pesar de tener un excelente desempeño en la ejecución de los movimientos tiene cierto porcentaje de incertidumbre generado por el error que produce las piezas diseñadas como soportes de las ruedas y del sistema de engranaje rotatorio del brazo. Estos errores se han venido corrigiendo durante este 2023, concluyendo que dichos soportes lo mejor es mandarlos a construir de material metálico para incrementar su rigidez y mejorar el soporte de los motores y de la caja de engrandes.

Créditos.

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento del proyecto 14403.22-P, de la convocatoria de apoyo a proyectos de desarrollo tecnológico e innovación 2022 y las facilidades del Tecnológico Nacional de México campus Tuxtla Gutiérrez para la realización de este trabajo.

Referencias bibliográficas.

- Bambino, I. (2008).** Una introducción a los robots móviles. Recuperado en <https://xdoc.mx/preview/una-introduccion-a-los-robots-moviles-5eefc27f42a78>
- Barrientos, A. Peñin, L.F. (2007).** Fundamentos de robótica. Madrid, España: McGraw Hill.
- Kelly, R. y Santibañez, V. (2003).** Control de movimiento de robots manipuladores. Madrid, España: Pearson Educación, S.A.
- Ollero, A. (2001).** ROBÓTICA, Manipuladores y robot móviles. Barcelona España: Editorial Marcombo.
- Revista de robots. (2023).** Robótica Móvil. Que es la robótica Móvil y para qué sirve?. Recuperado en <https://revistaderobots.com/robots-y-robotica/robotica-movil-que-es-la-robotica-movil-y-para-que-sirve/>
- Rivero, F.J. (2021).** Simulación del robot KUKA YouBot en el entorno de CoppeliaSim. Tesis no publicada. Escuela Técnica Superior de Ingeniería: Universidad de Sevilla, Sevilla, España.
- Santiago M,R.S. (2009).** Control y comportamiento de robots omnidireccionales. Tesis de grado. Instituto de computación, Facultad de Ingeniería. Montevideo, Uruguay.

Información de los autores.



Álvaro Hernández Sol, es Ingeniero en electrónica, egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. 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 2001. Fundador y asesor del “Club de robótica 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.



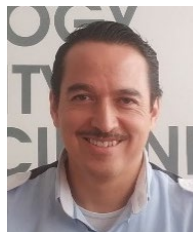
Leobardo Antonio Utrilla Hernández, estudiante del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, pasante de la carrera ingeniería electrónica con especialidad en mecatrónica industrial, cuenta con la certificación CSW de solidworks, tiene como campos de interés: diseño, modelado y animación en 3D, programación, robótica.



Jesús Alberto Santeliz Alvarado, estudiante del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, pasante de la carrera ingeniería electrónica con especialidad en mecatrónica industrial, cuenta con la certificación CSW de solidworks, tiene como campos de interés: Diseño, modelado en 3D, automatización, programación de PLCs.



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.



Osbaldo Ysaac García Ramos, Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Académico de Tiempo Completo en UVM desde 2005. Tiene 12 años de experiencia docente. Tiene Cursos especialización en Mecatrónica en Universidad de Esslingen Alemania, en la empresa Emco Salzburgo Austria, en la empresa Festo Estados Unidos y Festo México. Responsable técnico del proyecto de investigación “Consolidar un centro de investigación y desarrollo de vehículos eléctricos funcionales y confortables e impulsados por energía limpia” junto con la empresa Invemex S.A de C.V., 2015. Ha desarrollado proyectos de investigación como ‘Sistema de medición de hélices de barco para la secretaria de marina financiado por Conacyt y Semar’, “Diseño y caracterización de Biomateriales a partir de macromicetos como alternativa al uso del unicel” en el año 2014 (financiados por Conacyt). Tiene participaciones en congresos internacionales como congreso Tecno láser Habana Cuba 2013 con artículo y ponencia ‘Método de registro automático de imágenes de rango tridimensionales para restauración de piezas arqueológicas’.



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 adscrito 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”.