

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ROBOT CON TELEOPERACIÓN (ETAPA III)

¹ Leonardo Basilio González, leonardobasilio395@gmail.com
* M. I. Marco Antonio Ruiz Gasca, marco.ruiz@tlahuac.tecnm.mx

RESUMEN

El presente proyecto es la continuidad del proyecto “Desarrollo de un robot con tracción diferencial para implementación de controladores robustos y monitoreo remoto” (Castillo Velazquez, Rosas Domínguez, Velazquez Trejo, & M. I. Ruiz Gasca, 2022). En esta etapa se tuvo como objetivo rehabilitar el prototipo inicial, agregando algunas modificaciones que fueron impresas en 3D, además se propuso un segundo prototipo de robot de tipo DDWMR (Differential Drive Wheeled Movil Robot) con una configuración de 4 ruedas y con un mejor diseño estructural y mecánico, esto con el fin de obtener mayor robustez y abrir la posibilidad de utilizarlo en alguna aplicación real donde el prototipo inicial no resistiría las perturbaciones y dificultades de las condiciones externas. Se detalla el proceso de construcción del robot al que se le integró una tarjeta Arduino Due para el procesamiento de señales y el control de motores con controladores clásicos (PID) y robustos discontinuos ST (Super-Twisting), dando la oportunidad de hacer una comparativa entre ambos. Finalmente se reporta el desarrollo actual del robot.

PALABRAS CLAVE

DDWMR
PID
Simulación
Modos deslizantes

ABSTRACT

This project is the continuity of “Desarrollo de un robot con tracción diferencial para implementación de controladores robustos y monitoreo remoto” (Castillo Velazquez, Rosas Domínguez, Velazquez Trejo, & M. I. Ruiz Gasca, 2022). In this phase was aimed to rehabilitate the first prototype, adding some modifications that was printed in 3D, it's has proposed one robot of DDWMR with four wheels configuration and type with better estructural and mechanics design to get more robust, the robot integrate a camera with capacity to identify patterns and raspberrie pi4 for image processing and camera control, also an Arduino Due for processing the signals and motors control with classics (PID) and robust (ST) controllers, giving the oportunity of contrast both. Finally was made test in diferent surfaces types and was evaluated the eficiencie with a checklist secure a estándar and realistic results.

KEYWORDS

DDWMR
PID
Simulation
Sliding-modes

¹ Tecnológico Nacional de México / Estudiante.
² Tecnológico Nacional de México / Docente.

I. INTRODUCCIÓN

Desde la revolución industrial, cuando los avances tecnológicos empezaron a crecer de manera exponencial el humano apenas comenzaba a tener idea de todo lo que podría llegar a construir, sin embargo, esta tecnología exigía a su vez de procedimientos y técnicas cada vez más sofisticadas. Al día de hoy los avances en los sistemas computarizados nos han abierto la puerta a grandes posibilidades como lo puede ser en el diseño mecánico, electrónico, etc. lo que ha permitido a las empresas economizar debido a que previo a la producción o fabricación, es posible analizar de una manera muy acertada como será el funcionamiento de la invención pues los simuladores pueden replicar el funcionamiento del producto dentro de un entorno que de manera virtual se comporta de manera similar a la realidad.

La gran cantidad de conocimientos se ha separado en diversas áreas y ciencias como puede ser matemáticas, biología, informática, mecánica y muchas más dentro de las cuales se encuentra la robótica, una técnica que de acuerdo con (Real Academia Española) es “una técnica que aplica la informática al diseño y empleo de aparatos que, en sustitución de personas, realizan operaciones o trabajos, por lo general en instalaciones industriales”. Aunque en la actualidad el concepto ya no se limita en su mayoría a la industria, ya es posible encontrar robots y automatismos en diferentes áreas.

Existen diferentes formas de clasificar los robots según varios criterios como: fuente de energía, la forma en que se accionan las articulaciones, su geometría o estructura cinemática, su destino o área de aplicación o su método de control. (Mark W. Spong, 2004)

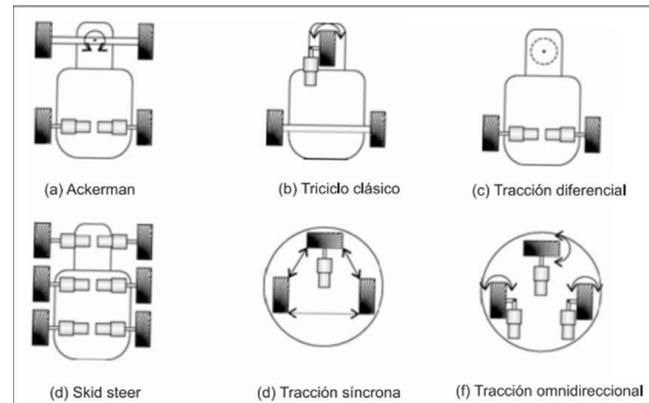
(Barrientos Sotelo, García Sánchez, & Silva Ortigoza, 2007)

“Los robots móviles se clasifican por el tipo de locomoción utilizado; ... por ruedas, por patas y por orugas”(p. 14). En esta misma referencia se menciona que el sistema de tracción por ruedas o Robots Móviles con Ruedas (RMR) frente a los otros dos sistemas de locomoción presenta ciertas ventajas como: su eficiencia en cuanto a energía en superficies lisas y firmes, además, este tipo de tracción no causan desgaste en la superficie es más simple a tener un número menor de partes. Aspectos que se toman en cuenta a la hora de diseñar y construir un robot de este tipo.

Dentro de los RMR existen diferentes configuraciones que en función de las necesidades se establecerá el más adecuado teniendo en cuenta la complejidad cinemática del mismo.

La configuración mas popular es la de 3 ruedas (Stefek, Thuan Van Pham, & (member, 2022) sin embargo en este proyecto se estará utilizando una configuración de 4 ruedas.

Figura 1
Configuraciones de los RMR



Nota. Fuente Barrientos, et. Al. (2007)

Un ejemplo de robótica móvil es el M2 ROV (Figura 2) de la empresa Chasing un drone submarino utilizado para la exploración científica, fotografías submarinas, inspección de cascos y muelles, inspección acuícola o búsqueda y rescate, Equipo que de acuerdo con (Infobae, 2022) fue utilizado por la Secretaria de Marina en el derrumbe en mina de carbón de Sabinas, Coahuila con el objetivo de visualizar las posibles rutas de rescate de 10 mineros atrapados en ductos inundados a 34 metros por debajo de la superficie terrestre.

Figura 2
Adaptado de M2 ROV



Nota. (CHASING, S.F)

Otro ejemplo es el robot RMIWT9 “controlado a distancia para revisar la zona con sus 4 cámaras de video vigilancia” (MÉNDEZ, 2021) robot conformado por un sistema de tracción de oruga y un manipulador, robot utilizado para el reconocimiento y desactivación de explosivos. (ver Figura 3)

Figura 3

Grupo de respuesta a emergencias del cuerpo de fuerzas especiales del ejército.



Nota. adaptado de (MÉNDEZ, 2021 <https://www.milenio.com/politica/trajes-45-kilos-preparan-anti-bombas-ejercito>)

Problemática

Nivel Local

El Instituto Tecnológico de Tláhuac cuenta con equipos sofisticados como robots de carácter fijo en los que los alumnos así como los docentes practican y analizan aspectos esenciales en el estudio de la robótica, sin embargo solo se cuenta con un robot móvil con locomoción por patas, lo que para propósitos de estudio es muy útil, no obstante el prototipo carece de robustez para implementarlo en ciertas áreas que impliquen cambios en el tipo de suelo o que requiera de una tracción con más fuerza, son características que limitarían a su correcto funcionamiento.

Los diferentes tipos de robots móviles conllevan a que cada uno de ellos tenga análisis de funcionamiento diferente por lo que la comunidad estudiantil requiere de robots móviles con diferentes configuraciones para incrementar sus conocimientos en robótica.

Nivel Regional

Tláhuac y Milpa Alta, regiones donde la agricultura predomina dentro de la Ciudad de México, año con año las personas agricultoras hacen uso de tecnologías para la siembra, cosecha y para mitigar las invasiones de cultivos por plagas y malezas no deseadas, que implica un incremento en la inversión de tiempo y de mano de obra. Acción que repercute en las ganancias de los dueños de los cultivos y en los precios del producto.

Justificación

El crecimiento de la industria y el constante desarrollo tecnológico exigen procesos cada vez más sofisticados, confiables y precisos.

Este proyecto de uso libre beneficiará a la comunidad estudiantil y a la investigación siendo base de nuevos proyectos y desarrollos tecnológicos que se adapten a las nuevas necesidades del futuro.

En la región sureste de la Ciudad de México existe una baja producción de material académico y científico pues las instituciones que lideran la producción científica se localizan al norte, oeste o centro de la ciudad (Rueda, 12), aspecto de gran importancia que se debe fortalecer en instituciones académicas como en el Instituto Tecnológico de Tláhuac para el uso de recursos, publicaciones y participación en congresos de diferente índole, para la generación y aplicación del conocimiento y beneficio en aportar puntos para futuros reconocimientos, posicionamiento o indicadores de desarrollo (Artículos, convenios, exposiciones, difusión, etc.)

Objetivos

El objetivo de este proyecto es desarrollar un robot móvil de tracción diferencial capaz de realizar rutinas de manera eficaz para fines de investigación en algoritmos de control y tecnologías emergentes. Para lograr el objetivo se tendrá que completar algunos objetivos específicos como:

- Investigar y estudiar los temas relacionados con cinemática, dinámica y control de robots móviles.
- Identificar las fallas estructurales y dar mantenimiento al diseño creado en las etapas I y II.
- Proponer mejoras para el diseño mecánico de un robot móvil capaz de enfrentar diversas superficies terrestres.
- Realizar pruebas y rutinas en campo y demostrativas del nuevo diseño y evaluar su eficiencia.

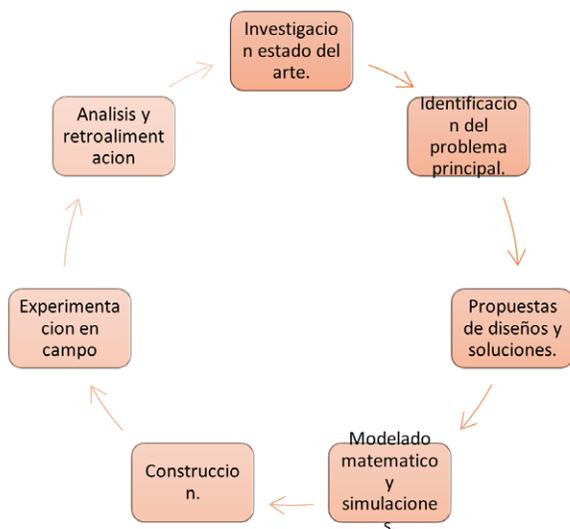
II. METODOLOGÍA

Con la finalidad de conseguir los objetivos deseados se realizaron pruebas bajo un esquema de listado de verificación integrando características y aspectos importantes que sirvieron para tener un control y manejo de los datos analizados de manera ordenada y objetiva, (Figura 4).

El proyecto se limitó a realizarse en un lapso de 16 semanas, del 22 de agosto al 16 de diciembre del 2022 durante el periodo de residencias profesionales en el Tecnológico Nacional de México - Instituto Tecnológico de Tláhuac, las pruebas y demostraciones se realizaron en las alcaldías Milpa Alta y Tláhuac, principales zonas de cultivo de nopal, donde se efectuaron pruebas de control y seguimiento de trayectorias con reconocimiento de patrones en diferentes tipos de suelos y superficies: Arenoso, Pedregosos, asfalto, concreto rallado, pisos cerámicos.

Figura 4.

Diagrama de la metodología utilizada en el proyecto.



Nota. Fuente propia

Materiales:

Motores NPC-t64.

2 baterías de 12v de 18A cada una.

2 Puente H BTS7960

1 modulo regulador de voltaje.

Cable calibre 12.

Tubería de ptr, perfiles y placas de acero.

4 rines de 8in de diámetro.

Tornillos de cuerda fina con cabeza hexagonal y para llave allen.

Varilla roscada galvanizada de 5/8 con cuerda estándar.

Equipo:

Fuente de Voltaje 0-27v DC 20Amp.

Vernier, Flexómetro.

Herramientas eléctricas de corte, barrenado y desbaste de metal.

Herramientas de uso general (desarmadores, pinzas, etc)

Computadora portátil.

El multímetro se empleó para medir el voltaje y corriente de los actuadores alimentados por la fuente de voltaje con la que se alimentó a todo el robot durante las pruebas, además se utilizó para verificar continuidad entre los conductores.

III. RESULTADOS O AVANCES:

Las etapas I y II de este proyecto fueron presentadas en el 9º Congreso Internacional de Robótica y Computación (CIRC 2022), ponencia 22138 con el título Desarrollo de un Robot con Tracción Diferencial para Implementación de Controladores Robustos y Monitoreo Remoto.

Dando continuidad al proyecto, se procedió a hacer un reconocimiento del prototipo resultado de la investigación previa Etapa I y II (Castillo Velazquez, Rosas Domínguez, Velazquez Trejo, & M. I. Ruiz Gasca, 2022).

El Prototipo se integra por lo siguiente:

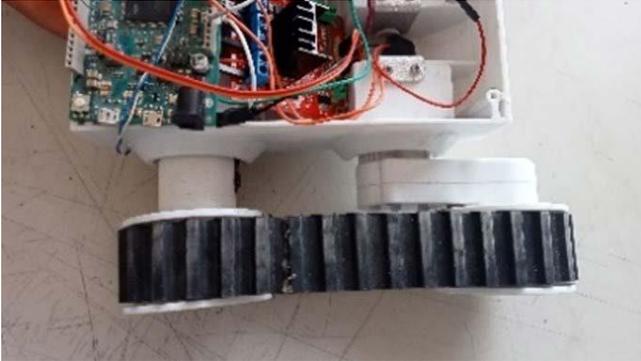
- Chasis del prototipo con sistema de locomoción de orugas con una configuración cinemática diferencial.
- La tarjeta de desarrollo que integra en un Arduino Due
- Driver puente h l298
- Motores GM25370
- Chasis, ruedas y soportes de motores impresos en 3D con PLA.

Se realizó un diagnóstico de fallas mecánicas y estructurales presentando como mayor problema los siguientes puntos:

- Debilidad y fracturas en los soportes de los motores provocadas por la tensión de la banda. (Figura 5 y Figura 6)
- El enrutamiento del cableado de los motores es inadecuado debido a que estaba expuesto por la parte inferior del robot, zona donde en suelos irregulares presenta mayor cantidad de fricción, siendo un posible factor de falla del prototipo.

- La falta de sujeción al chasis de las tarjetas controladoras supone un riesgo de cortocircuito para el prototipo. (Ver Figura 7)

Figura 5.
Falta de tensión en la banda por falla estructural en los soportes.



Nota. Fuente propia

Figura 6.
Rupturas en los soportes de los motores.



Nota. Elaboración propia

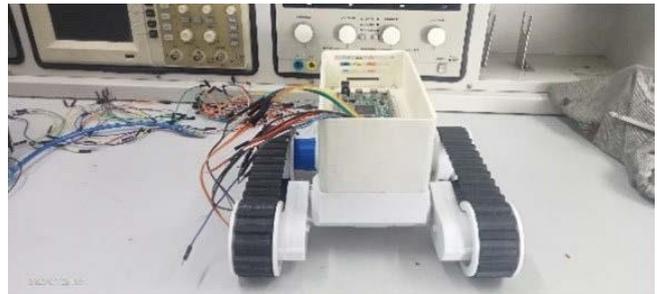
Figura 7.
Nulo anclaje de los motores a los soportes.



Nota. Elaboración propia

Se diseñó en computadora un soporte mejorado que da solución a las fallas (Figura 8), contemplando que no es un prototipo mecánica y estructuralmente robusto, por ello se optó por el método de impresión 3D en material de ABS. Los motores fueron instalados en los soportes y posteriormente fueron fijados al chasis con tornillos. Se realizó las conexiones electrónicas y se verificó que el funcionamiento fuese el correcto.

Figura 8.
Prototipo rehabilitado.

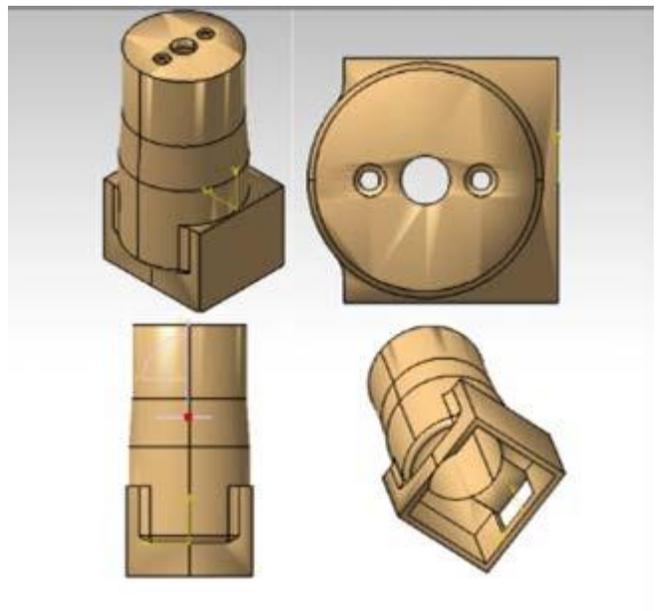


Nota. Elaboración propia

Propuestas de diseño

Con el propósito de dar continuidad a las investigaciones anteriores (Etapa 1 y 2) se busca un diseño robusto que la comunidad estudiantil pueda utilizar con cierta facilidad y que los costos y materiales de mantenimiento sean asequibles para motivar las propuestas y mejoras del robot. (Figura 9)

Figura 9.
Diseño en CAD de los soportes de motores.



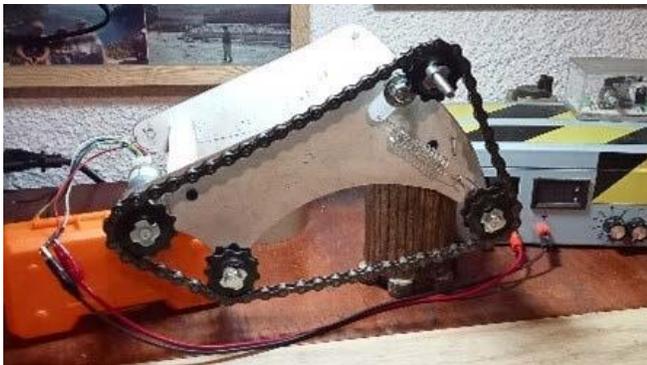
Nota. Elaboración propia

Diseño E3-Gamma

Integra una configuración diferencial con tracción de orugas, chasis de aluminio, orugas fabricadas con cadena y piñones de bicicleta, integrado por un motor de 6v con reductor por engranes metálicos de ratio 1:34 y velocidad de 210rpm con un tamaño total de 300x250x20mm.

El diseño presento falta de robustez mecánica y el sistema de tracción de oruga otorgo cierta fiabilidad sacrificando sencillas al integrar gran cantidad de eslabones, los motores no son capaces de soportar más carga además de tener un espacio reducido para las futuras mejoras. (Figura 10).

Figura 10.
Propuesta de diseño E3-Gamma.



Nota. Elaboración propia

Diseño E3-Betta. (Figura 11)

Se reconfiguro el chasis y se propuso un cambio del mecanismo de tracción por ruedas.

El diseño consta de un chasis de acero con ruedas de acero de 254x100mm integrado con motores MY1016 de 24v, 300w y de 2750rpm con un arreglo externo de engranes de ratio 1:10 con dimensiones de aproximadamente de 650x500mm

Los motores al no tener una etapa de reducción integrada de velocidad, vuelve más costosa su construcción además de que los tiempos de importación son de más de 1 mes. Las ruedas presentan mejoras en la tracción comparados con los neumáticos, sin embargo, el diseño implica una manufactura especializada en engranajes, lo que lo vuelve un diseño muy costoso.

Figura 11.
Propuesta de diseño E3-Betta.

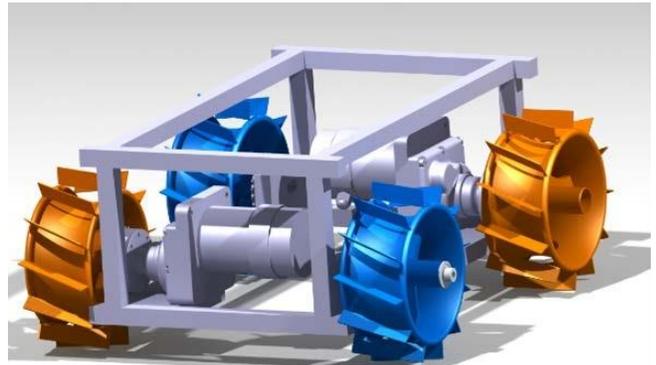


Nota. Elaboración propia

Diseño E3-Alpha. (Figura 12)

Se analizaron los diseños previos y se solucionaron algunos problemas de robustez y simplicidad, el diseño se integra por un chasis tubular cuadrado de acero, ruedas de acero de 254x100mm con baleros de carga, implementado con motores NPC-t64 de 24v, 230rpm con reducción integrada de ratio 20:1 y un Par de 1.8N/m, El robot con dimensiones aproximadas de 646x710x305mm.

Figura 12.
Diseño E3-Alpha.



Nota. Elaboración propia

El diseño se basó en la idea de (Barrientos Sotelo, García Sánchez, & Silva Ortigoza, 2007) que menciona que un diseño con un sistema de tracción por ruedas es un sistema con más sencillas comparado con la tracción por orugas o patas. Se realizo una entrevista y demostración a través de una reunión virtual con el Ing. Sahel Iskander Flores Gomez quien recomendó reducir los concentradores de tensión en el chasis para aumentar la capacidad de carga del robot.

Figura 13.
Diseño E3-Leonardo.



Nota. Elaboración propia

Con excepción del chasis, mantiene las características del E3-Alpha, sin embargo, al chasis se le redujeron los concentradores de esfuerzos que se presentaban como ángulos rectos en la parte frontal y posterior del robot. Se mantiene la configuración de tracción diferencias de 4 ruedas. cada motor es controlado por un Puente H BTS7960 con capacidad para controlar de 6-27vDC

- Soporta pocos de hasta 43A.
- Soporta PWM arriba de 25khz.
- Señal de control de 3.3 a 5v.
- Peso de 66g.
- El encoder integrado es de tipo rotativo incremental.
- 100ppr de dos fases.
- Alimentación de 3-5v DC.
- Diámetro de eje de 3mm.

Construcción

Buscando la mejor forma de construcción del robot sin emplear equipo y herramientas con las que no se cuenta con el fin de no incrementar los gastos de construcción.

se optó por utilizar tubería de PTR de 1inx1in en calibre 18, debido a que es una tubería de un calibre delgado, se realizó la soldadura con arco eléctrico con electrodos 6013-4 de 1/8, en (Oxgasa) se recomienda usar con polaridad directa entre 50-80A en posiciones planas. Por lo que se estará variando la corriente entre 75A y 100A en su mayoría y debido al calibre del PTR.

Chasis

Se inicio en la parte inferior de los laterales donde se presentan curvas en la tubería con diámetros 100mm para el interno y el externo 150mm, al no tener una roladora, se realizaron corte para lograr doblar la tubería y formar el medio círculo. (Figura 14)

Figura 14.
Soldadura en la curva inferior del chasis.



Nota. Elaboración propia

Se corto la tubería con un esmeril manual y se realizaron las soldaduras correspondientes, logrando una estructura de chasis rígida. (Ver Figura 15)

Figura 15.
Armado y soldado del chasis.



Nota. Elaboración propia

Como soporte de los motores se utilizó dos tramos de placa de acero de 5mm de espesor a los cuales se les realizó dos barrenos de 5/16 concéntricos a los barrenos de cada motor a su vez, se barreno una solera de acero para servir como junta entre el soporte y el motor, permitiendo una mejor fijación. (Ver Figura 16)

Para los dos soportes de las ruedas directas, se utilizó como soporte dos placas metálicas de 5mm a las cuales se les realizo un barreno de 5/8in que funcionaria para fijar el eje de la rueda al chasis. Los ejes que se utilizaron son varillas roscadas de 5/8in para con tres tuercas hexagonales.

Figura 16.
Barrenado de soporte del motor.



Nota. Elaboración propia

Posteriormente se soldaron 8 piezas de ángulo de 4cm de largo en calibre 18 que servirán como soportes para las baterías.

Finalmente, se realizó el esmerilado y lijado del chasis y se procedió a pintar en dos capas con pintura primer en aerosol y con 2 capas de pintura color naranja seguridad con un lijado entre capa con lija del número 300. (Ver Figura 17)

Figura 17.
Chasis pintado con color naranja seguridad.



Nota. Elaboración propia

Ruedas

Fabricadas con un rin de carretilla de diámetro de 8in que de acuerdo con el fabricante es capaz de soportar 180kg por cada rin. Se busco una catarina que fuera compatible con la cadena de bicicleta y se modificó incrementando el diámetro del barreno central para lograr encajar la catarina en el eje del rin. (Ver Figura 18)

Figura 18.
Soldadura de catarina al eje del rin.



Nota. Elaboración propia

Se mecanizo en un CNC router un centrador y nivelador en mdf de 10mm, insertándolo en el eje del rin con una tolerancia de 0.2mm, posteriormente se acoplo la catarina sobre el nivelador y verificando que el nivel fuera el deseado se realizó la soldadura.

A dos rines que serán los destinados a estar acoplados al chasis con un eje de 5/8, únicamente se recortó el excedente del eje del rin mientras que para los otros dos rines se diseñó un espaciador o junta que permitirá ensamblar de manera correcta la catarina del rin al motor a través de tornillos. La junta o espaciador se diseñó y se generó el código G en el software vectric Aspire v8.5, se mecanizo en mdf de 10mm suficiente para sobrepasar el grosor de las cabezas de los tornillos que sujetan la placa de aluminio del motor a la flecha de este. (Ver Figura 19)

Figura 19.
Junta o espaciador de 10mm en MDF.



Nota. Elaboración propia

Utilizando como guía al espaciador, se realizaron los barrenos en la catarina del rin (Ver Figura 20). Debido a que el eje del rin coincidiría con las cabezas del motor al momento del ensamblaje, se le realizaron cortes al eje con el fin de facilitar el acoplamiento del rin al motor.

Figura 20.
Cortes al eje del rin.



Nota. Elaboración propia

Se acoplo el rin con la catarina a la placa de aluminio del motor (Ver Figura 21), prensando el espaciador y dejándolo fijo con tornillos que atraviesan desde la catarina hasta la placa de aluminio.

Figura 20.
Ensamble del rin al motor.



Nota. Elaboración propia

Armado

El armado del robot no implico mas de 20 minutos, pues la correcta fabricación garantizo que los barrenos para los tornillos coincidieran, para su armado fue necesario fijar 11 tornillos para la electrónica y 36 tornillos para ensamblaje que otorgan un buen funcionamiento y buena fijación de motores, juntas, rines, y soportes al chasis. (Ver Figura 22)

Figura 22.
Armado del E3- Leonardo.



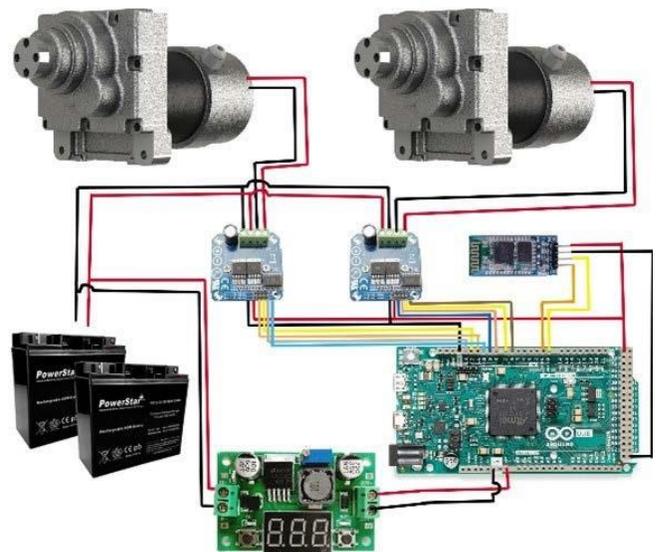
Nota. Elaboración propia

Conexión y diagramas eléctricos

para las pruebas iniciales se realizó las conexiones electrónicas de los drivers , las baterías y los motores. Debido a que las baterías presentan cierta inestabilidad en la corriente y voltaje, se implementó un módulo regulador de voltaje que alimentaría al Arduino Due.

Se utilizo un modulo bluetooth hc-06 para realizar la comunicación por bluetooth con un celular Android, que a través de una aplicación se estaría enviando al Arduino Due una señal de PWM con la que se controlaría el robot en Lazo abierto. (Ver Figura 23)

Figura 23.
Diagrama de conexiones eléctricas del E3-Leonardo.



Nota. Elaboración propia

Aplicación Móvil

Se programo una aplicación para el control del robot a través de bluetooth para la realización de las primeras pruebas.

La aplicación fue diseñada y programada en un entorno abierto y de fácil utilización.

App inventores al ser un entorno de desarrollo de software de aplicaciones móviles Android.

Aplicación para control en lazo abierto:

<https://drive.google.com/file/d/1lCclEg6mJlzOA9v-D6oV1riyqSzVQfYmH/view?usp=sharing>

IV. CONCLUSIONES

Se rehabilitó el prototipo de manera exitosa proponiendo algunas mejoras que le garantizan un mejor funcionamiento. El proceso de diseño y construcción del robot E3-Leonardo ha implicado contemplar una serie de parámetros que nos permitirán un escalado del prototipo, resultado de la etapa I y II, con mejoras en robustez mecánica y estructuralmente, en software como de hardware.

La construcción del robot ha implicado conocer diferentes técnicas de manufacturar piezas que a su vez requieren tiempo o herramientas específicas. El robot al tener una estructura más rígida y con motores de mayor robustez, permitirán realizar una comparación adecuada y con cierta fiabilidad entre los controladores PID y un ST.

En las etapas anteriores se padeció de lento avance y limitada comunicación con el personal profesional en un entorno no virtual. Actualmente se están corrigiendo errores y se están aprovechando los resultados reportados de las etapas I y II. Además, las importaciones de materiales han sido afectadas por las nuevas normas de salubridad lo que a generado retrasos e incrementos en los costos de importación. Estos son aspectos que se han afrontado de una manera positiva durante la pandemia por el COVID-19, intentando obtener la mejor alternativa o prever posibles retrasos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barrientos Sotelo, V. R., García Sánchez, J. R., & Silva Ortigoza, R. (2007). *Robots Móviles: Evolución y Estado del Arte*. Distrito Federal, Mexico: Polibits.
- Castillo Velazquez, D. A., Rosas Domínguez, I., Velazquez Trejo, R. D., & M. I. Ruiz Gasca, M. A. (2022). Desarrollo de un robot con tracción diferencial para implementación de controladores robustos y monitoreo remoto. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI, Especial Pädi*, 1-7.
- CHASING. (s.f.). Obtenido de CHASING M2 ROV | Professional Underwater Drone with a 4K UHD Camera: <https://www.chasing.com/es/chasing-m2.html>
- Infobae, J. P. (8 de Agosto de 2022). Infobae. Obtenido de Cámara 4K y ángulo de campo de 150°: así es el dron submarino que usarán para explorar la mina inundada de Sabinas: <https://www.infobae.com/america/mexico/2022/08/08/camara-4k-y-angulo-de-campo-de-150-asi-es-el-dron-submarino-que-usaran-para-explorar-la-mina-inundada-de-sabinas/>
- Mark W. Spong, S. H. (2004). *Robot Modeling and Control*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- MÉNDEZ, A. S. (24 de Septiembre de 2021). Con trajes de 45 kilos, así se preparan los elementos anti-bombas del Ejército. Obtenido de <https://www.milenio.com/politica/trajes-45-los-preparan-anti-bombas-ejercito>
- Oxgasa. (s.f.). Infrasal. Obtenido de Manual del Soldador: <https://www.infrasal.com/industria/phocadownloadpap/manual%20del%20soldador.pdf>
- Real Academia Española, R. (s.f.). *Diccionario de la lengua española (23.5 en línea ed.)*. Recuperado el 29 de Septiembre de 2022, de <https://dle.rae.es/rob%C3%B3tico>
- Rueda, A. (30 de 03 de 12). La ciencia en México: 'asimétrica y centralizada'. Obtenido de SciDev.Net: <https://www.scidev.net/america-latina/news/la-ciencia-en-mexico-asim-trica-y-centralizada/>
- Stefek, A., Thuan Van Pham, V. K., & (member, I. a. (2022). Energy Comparison of Controllers Used for a Differential Drive Wheeled Mobile Robot. *IEEE Access*.

