

Diseño y construcción de chasis para un robot móvil de ruedas para la exploración de terrenos irregulares

Design and construction of chassis for a wheeled mobile robot for rough terrain exploration

Ángel Cantos^a, Franklin Samaniego^a

^aFacultad de Ingeniería Industrial, Universidad de Guayaquil, Guayaquil
090514, Ecuador.

Autor de correspondencia: angel.cantosa@ug.edu.ec

Recibido: 29, octubre 2024; **Revisado:** 18, noviembre 2024; **Aceptado:** 22, noviembre 2024

Causalidad 2025, Vol. 1, Núm. 1

DOI: 10.70929/caui3.v1i1.2wrkyz89

Cómo citar: A. Cantos-Andrade and F. Samaniego, “Diseño y construcción de chasis para un robot móvil de ruedas para la exploración de terrenos irregulares”, *Revista Digital Científica Causalidad (caui3)*, vol. 1, no. 1, pp. 1–11, Dec. 2024, doi: 10.70929/caui3.v1i1.2wrkyz89.

Resumen

Debido a la falta de tecnología eficaz para la exploración en terrenos con poca visibilidad e inestables, nace la necesidad de revisar y analizar estos entornos. El presente artículo aborda el diseño e implementación de un robot móvil de ruedas encargado de explorar este tipo de ambientes. El robot se compone de un conjunto de dispositivos como sensores, microcontroladores y actuadores montados sobre el modelo con sistema de suspensión utilizado. Este sistema se alimenta a través de un dispositivo portátil de almacenamiento de energía cuya capacidad es de 3,7V y 30Ah. Adicional, el modelo presenta la característica de transmisión de imágenes en tiempo real, por medio de la cámara inalámbrica. El control de desplazamiento del robot se basa en el Controlador Bluetooth RC. El modelo ha sido probado en campo y ha mostrado capacidad de desplazamiento de 93% de efectividad en condiciones extremas, por lo que refleja una robustez y funcionalidad del diseño.

Palabras clave - Autonomía energética, exploración de terrenos inestables, robot móvil, visión nocturna.

Abstract

Due to the lack of effective technology for exploration in low visibility and unstable terrain, the need to review and analyze these environments arises. This paper deals with the design and implementation of a wheeled mobile robot in charge of exploring this type of environments. The robot is composed of a set of devices such as sensors, microcontrollers and actuators assembled on the model with the suspension system used. This system is powered through a portable energy storage device whose capacity is 3.7V and 30Ah. In addition, the model features real-time image transmission by means of a wireless camera. The robot's movement control is based on the Bluetooth RC Controller. The model has been field tested and has shown a 93% effective displacement capacity in extreme conditions, reflecting the robustness and functionality of the design.

Keywords - Energy autonomy, exploration of unstable terrain, mobile robot, night vision.

1. Introducción

La robótica es una disciplina en constante evolución, es así que con el pasar del tiempo, se han desarrollado diversos e importantes avances en campos, como la industria o en el entrenamiento, siempre, manteniendo el propósito de ayudar al ser humano en los diferentes y complejos problemas del mundo real [1].

La exploración en zonas de difícil acceso, visibilidad reducida y oscuridad, puede ser llevada a cabo mediante el uso de robots móviles [2], [3], [4]. En este sentido, un robot puede llevar sensores, medios de comunicación inalámbrica y otras metodologías como la inteligencia artificial a fin de mejorar la calidad del procesamiento de datos e imágenes [5]. Es así que, en la actualidad, existen una gran variedad de robots, entre los que se destacan los robots móviles con ruedas, de importancia relevante en operaciones de rescate en terrenos irregulares y en ambientes inestables [6].

La literatura muestra un conjunto de soluciones que buscan y superan la problemática de la evasión de obstáculos en 2D y 3D [7], [8]. No obstante, aunque estas soluciones muestran resultados y cálculos elegantes, este trabajo se enfoca en el diseño de un chasis que proporcione una vía sencilla para superar obstáculos, sin evadirlos, pero si sobrepasarlos por arriba.

Por tanto, una vez realizada la revisión de los avances tecnológicos disponibles en el mercado y con el objetivo de solventar la exploración en condiciones adversas, para entornos de acceso difícil, se propone un diseño adecuado. En este sentido, el robot móvil debe estar dotado de un conjunto de sensores y tecnologías que permita al robot desplazarse vía remota, es decir, el desplazamiento in situ y el control remoto. Finalmente, el presente proyecto se abarca un conjunto de actividades como el encendido del robot, enfoque del área a explorar junto a sus movimientos tele operados, con la finalidad de obtener un prototipo capaz de desenvolverse en terrenos de difícil acceso.

Finalmente, este artículo se organiza de la siguiente forma. En la sección 2, se realiza una breve descripción del diseño y del modelo desarrollado e implementado. La sección 3, realiza un rápido resumen de los resultados alcanzados después de la implementación del modelo. Finalmente, se describe las conclusiones alcanzadas luego de la culminación del trabajo.

2. Materiales y Métodos

Con el objetivo de explorar terrenos inestables en ambientes con poca visibilidad, se propone el diseño de un chasis, para un robot móvil de ruedas que se adapte a terrenos inestables, es importante destacar que existe un amplio conjunto de modelos y software que brinda apoyo en la etapa de diseño del chasis. Sin embargo, este trabajo realiza una ligera adición en el diseño computacional del chasis y propone un circuito electrónico, para el control y manipulación remota del robot móvil de ruedas.

Si se asume un entorno bidimensional $\Psi=(x, y)$ de movimiento, por el que un robot móvil β se desplaza, además, Ψ posee un conjunto de obstáculos $O=(x_i, y_i)$ dentro, el objetivo es que β , supere Ψ sobrepasando (pasar los obstáculos por encima), no esquivándolos.

De esta forma, se ha completado 2 fases para completar el trabajo, incluido el diseño del chasis y el circuito electrónico de movimiento, además, de la transmisión de imágenes captadas a la nube.

2.1 Diseño del chasis

Con el objetivo del desarrollo del diseño del chasis, se ha diseñado un conjunto de piezas, que han sido ensambladas en el orden mostrado en la Figura 1. El chasis se ensambla mediante un conjunto de codos y bases que forman las articulaciones, para finalmente, obtener el modelo.

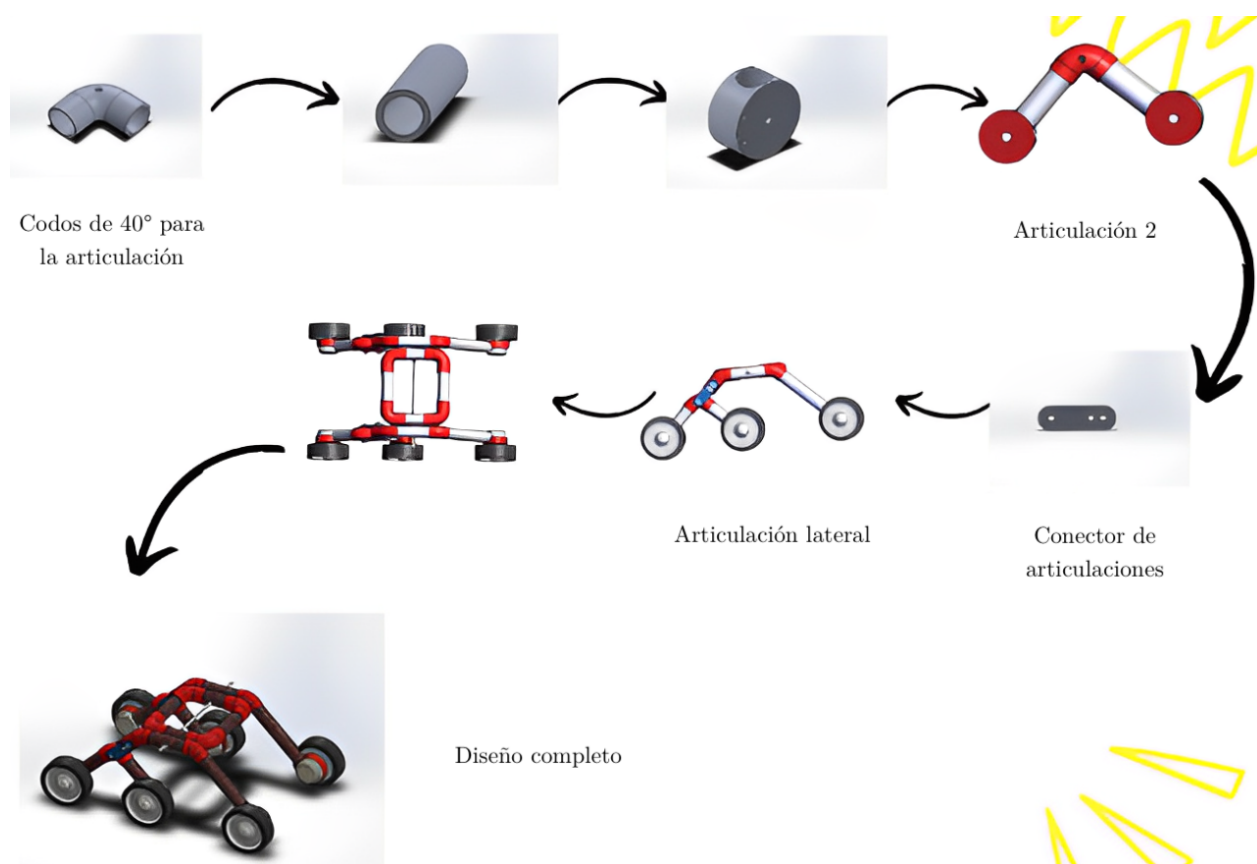


Figura 1. Ensamblaje del chasis, descrito por etapas.

La relevancia del modelo (que toma como base el Rocker-Bogie) se destaca por su desplazamiento vertical (es decir, en el eje z). En específico, ante la presencia de un obstáculo frente a una rueda, la rueda en contacto, posee la capacidad de subir por el obstáculo, superarlo y luego bajar frente al mismo. Esta acción es igual en cada una de las articulaciones y sus ruedas (6 ruedas). El conjunto de acciones descritas, provee al modelo la capacidad de movilidad sobre terrenos irregulares.

2.2 Diseño electrónico

El circuito electrónico propuesto, utiliza un módulo que se encarga del giro de los actuadores (motores) y un módulo de comunicación inalámbrica bluetooth que se conecta con un dispositivo móvil.

La Figura 2, muestra el esquema de conexiones para el control de giro en los motores (por simplicidad, se muestra una configuración de 4 motores, aunque la configuración es de 6 motores), comunicación, fuente de alimentación y sensores que sirven de apoyo para la determinación de la aceleración y velocidad angular de las ruedas.

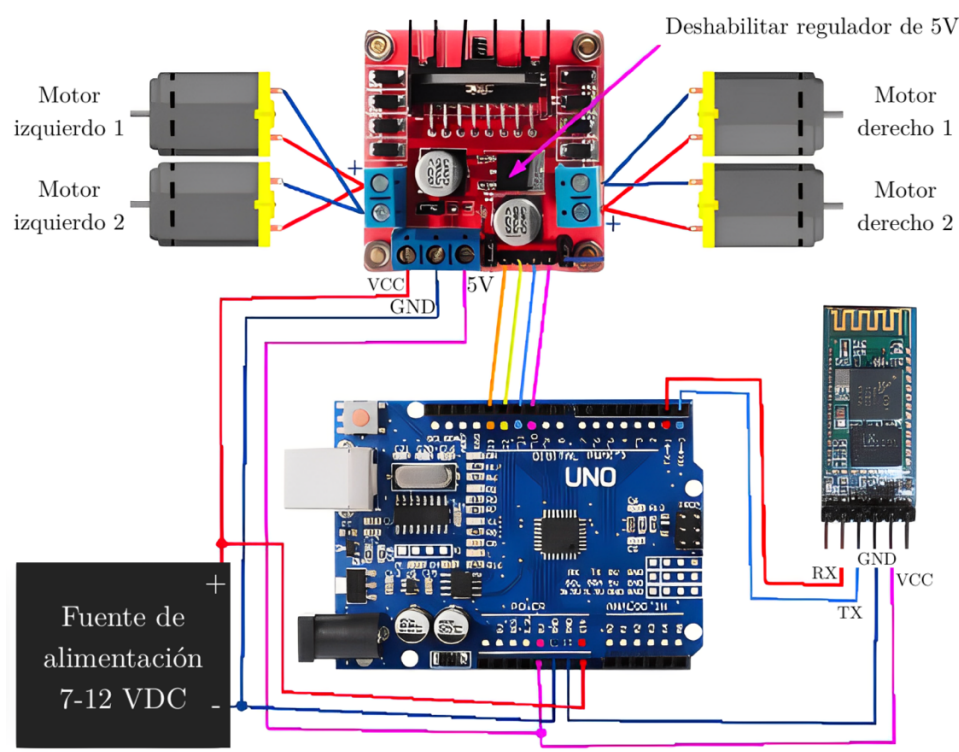


Figura 2. Diagrama esquemático del circuito de control del robot móvil.

Finalmente, en la Figura 3 se observa el resultado del aplicativo PIX-LINK PC que proviene del emulador de Android denominado LDPlayer, que permite la visualización en tiempo real de las imágenes capturadas por la cámara. En específico, las imágenes de la cámara son enviadas a la nube, donde, aprovechando bibliotecas de procesamiento de imágenes, son guardadas para un futuro procesamiento y análisis autónomo. Debido que el modelo carece de un procesamiento profundo en el análisis de imágenes para el

reconocimiento de obstáculos en el entorno de movimiento del robot, para aproximar la profundidad de objetos se ha integrado un sensor de ultrasonido. Entonces, la combinación de estas tecnologías fortalece del sistema ante distintos escenarios, además, resalta la adaptabilidad del proyecto a las limitaciones del entorno y la disponibilidad de elementos hardware en el mercado.

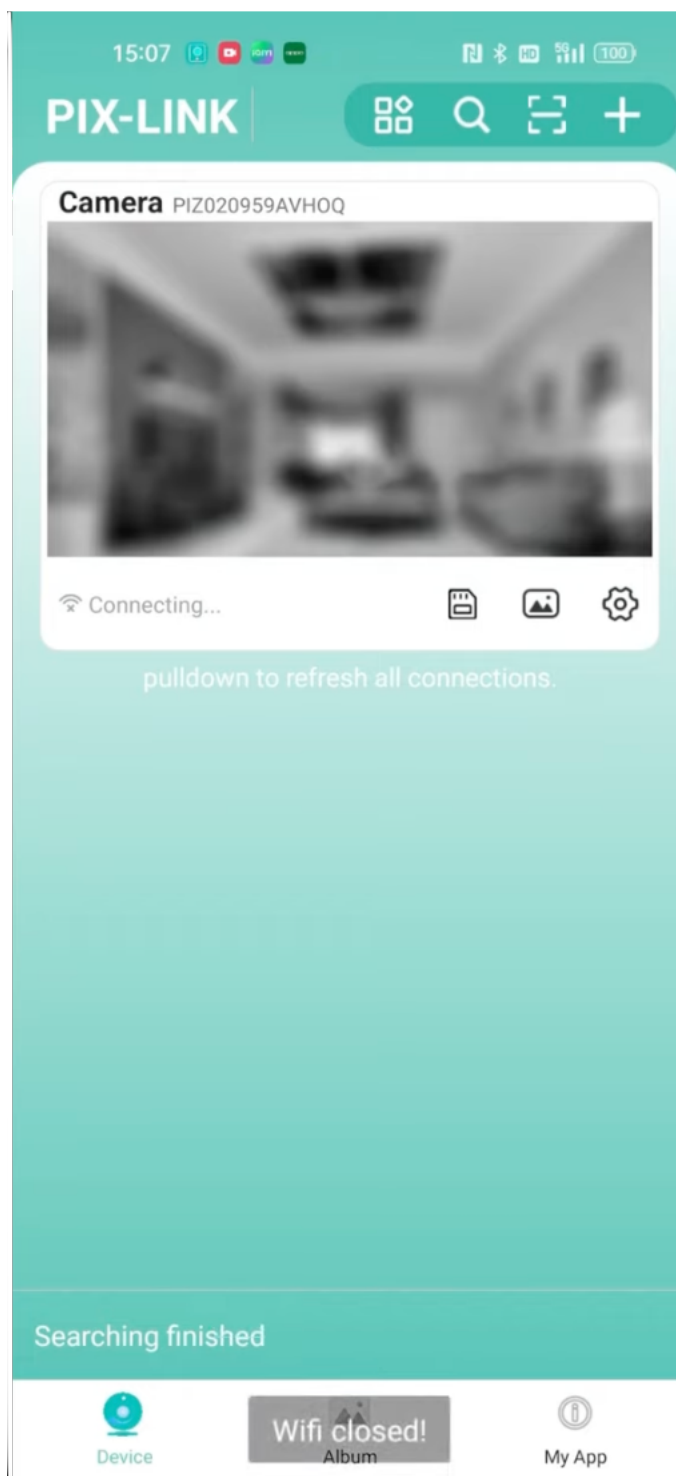


Figura 3. Imagen capturada por la cámara.

3. Resultados

Finalmente, con el objetivo de mostrar la contribución del trabajo completado, a continuación, se presentan los resultados alcanzados, productos del trabajo realizado. En la Figura 4 se puede apreciar el modelo de robot móvil, después de su implementación física.



Figura 4. Modelo de robot móvil de ruedas implementado.

3.1 Pruebas sobre diferentes entornos.

Se realizó un conjunto de pruebas para medir el funcionamiento del prototipo, las cuales se llevaron a cabo en varios entornos como terrenos llanos, rocosos, lisos, terrenos con poca luz e inestables. En específico, el robot móvil realizó un total de 15 pruebas sobre cada entorno, es decir, el robot intentó superar cada entorno por 15 ocasiones, luego de lo que se obtuvo un promedio de efectividad del 93,33 % de éxito de las pruebas realizadas. Es importante destacar que, la mayor efectividad se alcanzó cuando el robot se traslada sobre terrenos inestables, no obstante, eso no sucede en los terrenos llanos y lisos. La Figura 5 muestra los porcentajes de movimiento alcanzados por el robot móvil.

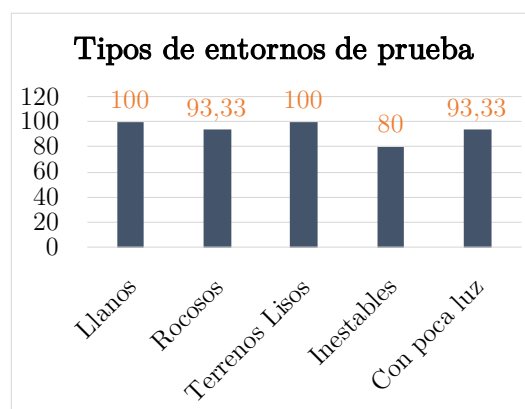


Figura 5. Estadísticas de pruebas realizadas.

3.2 Fuerza en los motores.

Debido a que, se hace uso de 6 motores DC con sus respectivas cajas reductoras (que ayudan al desplazamiento del robot); se ha realizado un breve cálculo del torque en base a las especificaciones técnicas del motor DC. Entonces, siendo el torque $\tau_m=1$ kg/cm y una relación n de la caja reductora de 1:48. Entonces, al calcular un torque final $\tau=48$ kg/cm, equivalente a 4,704 Nm, tal como se expresan en las ecuaciones (1) y (2). Por tanto, para los 6 motores se establece un torque total de 28,22 Nm.

$$\tau=\tau_m \times n=1 \frac{\text{kg}}{\text{cm}} \times 48=48 \frac{\text{kg}}{\text{cm}} \quad (1)$$

$$\tau[\text{Nm}]=0,098 \times \tau \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}} \right] =4,704 \text{ Nm} \quad (2)$$

Si se asume que el robot se mueve en un trayecto horizontal con un torque distribuido de forma uniforme, se utiliza la ecuación 3 para obtener el torque teórico T. Entonces, a partir de parámetros, peso de 2,3 kg, la gravedad $9,81 \text{ m/s}^2$ y un radio de la rueda de 5 cm; por lo que se determina un T igual a 1,13 Nm.

$$T=m \times g \times r=2,3 \text{ kg} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0,05 \text{ m}=1,13 \text{ Nm} \quad (3)$$

De manera que el $\tau \gg T$, por lo que no presenta problemas para que el vehículo se desplace sobre el terreno.

Por otra parte, debido a que se han analizado la funcionalidad de 2 cámaras IP, siendo, ESP32-CAM y Pix Link Wifi A10, se ha realizado una comparación de funcionalidad en función de varios parámetros, como la calidad de la imagen, conectividad, visión nocturna, aspectos detallados en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Comparación entre cámaras IP.

Aspectos	ESP32-CAM	Pix Link Wifi A10
Periodo de prueba	15 min	15 min
Calidad de imagen	640 x 480 píxeles (baja)	Full HD 1080p (alta)
Conectividad Wifi	Utiliza software para la configuración	Fácil configuración
Visión nocturna	No posee	Si posee
Flexibilidad	Puede tener una variedad de aplicaciones	Funciones específicas de vigilancia
Precio	Bajo	Moderado

De los parámetros analizados se tiene como opción viable a la cámara Pix Link Wifi A10 ya que presenta mejoras en cuanto se refiere a la calidad full HD 1080p, además, no requiere de un pseudocódigo para su configuración y durante la noche no posee dificultad alguna en

su visibilidad. No obstante, el precio se incrementa y solo es apto para funciones de vigilancia, comparado con el ESP32-CAM.

De los 2 modelos, se escoge el Pix Link Wifi A10 ya que para el presente proyecto se necesita de una buena visibilidad incluida las noches y que sea de configuración sencilla, tal como se observa en la Figura 6.



Figura 6. Cámara IP Pix Link A10 Wifi durante la transmisión de video en tiempo real.

3.3 Autonomía de la batería

Tomando en consideración que el dispositivo portátil de almacenamiento de energía (power bank) presenta características eléctricas de 3.7 V y 30 Ah, eso equivale a un consumo de 94.35Wh con una eficiencia del 85%, siendo:

$$\text{Wh efectivos} = 3.7 \text{ V} \times 30 \text{ Ah} \times 0.85 \% = 94.35 \text{ [Wh]} \quad (4)$$

donde, el consumo electrónico del robot es de 20 W, por lo que se calcula una autonomía de 4.72h, a partir de:

$$\text{Durabilidad} = \frac{\text{Wh efectivos}}{\text{Consumo del robot}} = \frac{94.35 \text{ Wh}}{20 \text{ W}} = 4.72 \text{ h} \quad (5)$$

No obstante, es importante resaltar que la autonomía dependerá del tipo de terreno por el cual se está desplazando el robot móvil. Por ejemplo, en terrenos llanos y accidentados se obtienen consumos de 36Wh y 59.84Wh; respectivamente, el Cuadro 2 realiza una breve descripción de este comportamiento.

Cuadro 2. Pruebas de consumo.

Terrenos	Horas (h)	Consumo (W)	Capacidad (Wh)
Llanos	2	18	36
Accidentados	2.72	22	59.84
Total			95.84

4. Discusión

El trabajo presentado realiza el diseño de un chasis para un robot móvil de ruedas, este chasis presenta características de movilidad para entornos irregulares, que poseen obstáculos con diferentes formas, pero de tamaños pequeños. Las características de diseño de las articulaciones permiten que el modelo supere entornos de diferentes características, no obstante, el modelo puede ser mejorado, tanto en dimensiones como en fuerza de motores, incrementando las reductoras. Finalmente, es importante destacar que las primeras pruebas de movimiento han sido satisfactorias, pueden ser extendidas y nuevamente cuantificadas, con el objetivo de extender y mejorar el trabajo, iniciando con el estudio del gimbal para la cámara.

Conclusiones

El uso del modelo de chasis del robot móvil ha demostrado ser una buena solución para la movilidad en terrenos irregulares. Este diseño ha permitido al robot móvil superar diferentes tipos de obstáculos con relativa facilidad, manteniendo estabilidad en diferentes superficies, de esta manera se cumplió con los objetivos iniciales del proyecto.

El sistema electrónico Arduino proporcionó una plataforma de control flexible y eficiente, lo que ha simplificado tanto la programación como la integración de los componentes, incluidos, ya sean los actuadores y sensores. Por otra parte, la capacidad de procesamiento del hardware, ha mostrado ser suficiente para cumplir con los requisitos del robot móvil, mostrando la viabilidad del uso de Arduino en este trabajo de robótica móvil.

Inicialmente, el sistema de alimentación no era suficiente para soportar largas jornadas de operación, lo que reducía la autonomía del robot. Entonces, con el objetivo de resolver esta particularidad, se ha propuesto una mejora en la gestión energética del sistema mediante la implementación de una batería de mayor capacidad para el consumo de los motores y sensores.

En terrenos que mantienen irregularidades importantes, se ha observado problemas de tracción en las ruedas, lo que dificultaba el avance del robot móvil. Este problema ha sido mitigado mediante un ajuste en la distribución de torque de las ruedas, ajustando la frecuencia y la amplitud de las señales eléctricas, lo que ha controlado el torque con precisión, alcanzando una mejor adaptación del sistema a diferentes superficies.

El robot móvil desarrollado logró superar con éxito el 93% de las pruebas realizadas en terrenos inestables y condiciones de poca visibilidad. Esto confirma la eficacia del diseño del chasis de tipo "Rocker-Bogie. No obstante, la cámara IP carece de estabilidad, por lo que, para un trabajo futuro se propone el diseño e implementación de un gimbal autónomo que mantenga la ubicación de la cámara, durante el desenvolvimiento del robot móvil.

Financiación

Los autores agradecen el apoyo brindado por la Universidad de Guayaquil, durante el transcurso de este trabajo.

Declaración de conflicto de intereses

El autor o autores no han declarado ningún posible conflicto de intereses en relación con esta investigación, la autoría y/o la publicación de este artículo.

Referencias

- [1] F. Rubio, F. Valero, and C. Llopis-Albert, “A review of mobile robots: Concepts, methods, theoretical framework, and applications,” *Int J Adv Robot Syst*, vol. 16, no. 2, pp. 1–22, Mar. 2019, doi: 10.1177/1729881419839596.
- [2] R. Almadhoun, T. Taha, L. Seneviratne, J. Dias, and G. Cai, “A survey on inspecting structures using robotic systems,” *Int J Adv Robot Syst*, vol. 13, no. 6, pp. 1–18, Nov. 2016, doi: 10.1177/1729881416663664.
- [3] D. Huamanchahua, D. Yalli-Villa, A. Bello-Merlo, and J. Macuri-Vasquez, “Ground Robots for Inspection and Monitoring: A State-of-the-Art Review,” in *2021 IEEE 12th Annual Ubiquitous Computing, Electronics & Mobile Communication Conference (UEMCON)*, IEEE, Dec. 2021, pp. 0768–0774. doi: 10.1109/UEMCON53757.2021.9666648.
- [4] A. Kristoffersson, S. Coradeschi, and A. Loutfi, “A review of mobile robotic telepresence,” *Advances in Human-Computer Interaction*, vol. 2013, pp. 1–17, 2013, doi: 10.1155/2013/902316.
- [5] E. Protopapadakis *et al.*, “AUTONOMOUS ROBOTIC INSPECTION IN TUNNELS,” *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. III–5, pp. 167–174, Jun. 2016, doi: 10.5194/isprsannals-iii-5-167-2016.
- [6] D. Amorim and R. Ventura, “Towards efficient path planning of a mobile robot on rough terrain,” in *2014 IEEE International Conference on Autonomous Robot Systems and Competitions (ICARSC)*, IEEE, May 2014, pp. 22–27. doi: 10.1109/ICARSC.2014.6849757.
- [7] F. Samaniego, J. Sanchis, S. Garcia-Nieto, and R. Simarro, “Comparative Study of 3-Dimensional Path Planning Methods Constrained by the Maneuverability of Unmanned Aerial Vehicles,” in *2018 7th International Conference on Systems and Control (ICSC)*, IEEE, Oct. 2018, pp. 13–20. doi: 10.1109/ICoSC.2018.8587810.
- [8] G. Vanegas, F. Samaniego, V. Girbes, L. Armesto, and S. Garcia-Nieto, “Smooth 3D path planning for non-holonomic UAVs,” in *2018 7th International Conference on Systems and Control (ICSC)*, IEEE, Oct. 2018, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICoSC.2018.8587835.

Este artículo está licenciado bajo CC BY 4.0.



La licencia CC BY 4.0 permite utilizar, compartir y modificar contenidos con cualquier fin, incluido el comercial, siempre que se cite al autor original, se enlace a la licencia y se indiquen los cambios realizados. Es irrevocable, internacional y no permite imponer restricciones adicionales que limiten el uso del material.