

CONESCAPANHONDURAS2025paper149.pdf

 Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)

Document Details

Submission ID

trn:oid:::14348:477740616

Submission Date

Jul 31, 2025, 9:50 PM CST

Download Date

Aug 12, 2025, 6:34 PM CST

File Name

CONESCAPANHONDURAS2025paper149.pdf

File Size

560.0 KB

4 Pages




3,037 Words

16,755 Characters

10% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Top Sources

- 10%  Internet sources
- 6%  Publications
- 0%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags




0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

Top Sources

- 10%  Internet sources
- 6%  Publications
- 0%  Submitted works (Student Papers)

Top Sources

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1	Internet	www.coursehero.com	2%
2	Publication	Aditya, Upma Jain, Akansha Yadav, Shubhangi Joshi, Vipashi Kansal, Shruti Bhatla...	1%
3	Internet	pubs2.ascee.org	<1%
4	Internet	trepo.tuni.fi	<1%
5	Internet	ijees.org	<1%
6	Internet	repositorio.uss.edu.pe	<1%
7	Publication	L. I. Silva, J. Jaguemont, C. H. De Angelo, L. Boulon. "Modeling an Electric Vehicle L...	<1%
8	Internet	d-nb.info	<1%
9	Internet	www.mdpi.com	<1%
10	Internet	dlib.phenikaa-uni.edu.vn	<1%
11	Internet	ijsrcseit.com	<1%

12	Internet	hdl.handle.net	<1%
13	Internet	northwestgamblingboard.blogpostie.com	<1%
14	Internet	api.crossref.org	<1%
15	Internet	www.theinsightpartners.com	<1%
16	Internet	docplayer.es	<1%
17	Internet	tecshow.amproweb.com	<1%
18	Internet	www.researchgate.net	<1%
19	Internet	www.dynamoelectronics.com	<1%

Design and Implementation of a Low-Cost Search and Rescue Robot Architecture

Abstract—In this technical report, we present the second phase in the development of a low-cost mobile search and rescue robot, with the primary goal of improving energy efficiency and minimizing excessive wiring through the design of two printed circuit boards (PCBs). In the first phase of the project, the foundational theory and technical framework for robotic architecture adaptable to various environments were established, prioritizing accessible and efficient solutions. In this phase, the Arduino Mega microcontroller was replaced with an ESP32, and the L298N motor driver was substituted with the TB6612FNG, significantly enhancing energy performance and reducing the system's size. As a result, two PCBs were designed using KiCad software: one for motor control and another for integrating essential sensors. The boards were designed, assembled and subjected to functional testing locally, but manufactured abroad at low cost. The results demonstrate improved system efficiency, enabling a more compact and robust design suitable for rescue operations in diverse terrains.

Keywords—board, desing, ESP32, microcontroller, PCBs, sensors

I. INTRODUCCIÓN

El presente artículo representa la continuación de la primera etapa del proyecto que se publicó en la investigación titulada “Towards the Definition of a Low-Cost Search and Rescue Robot Architecture [1], donde se sentaron las bases para el desarrollo de un prototipo de robot móvil de búsqueda y rescate, enfocado en el bajo costo y rápida manufactura.

Se realizó una revisión del estado del arte, clasificando los tipos de robots de rescate y proponiendo una arquitectura general para el diseño y construcción de un robot de búsqueda y rescate, dependiendo del tipo de entorno al que será sometido. También, se analizaron los distintos métodos de locomoción, tanto holonómicos como los no holonómicos. Comparamos diversos controladores y motores, priorizando soluciones económicas y accesibles.

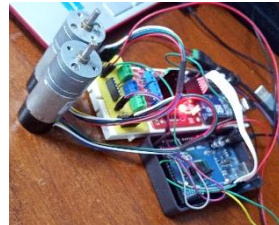
Planteamos la reducción de riesgos para los rescatistas mediante una alternativa tecnológica viable, eficiencia y confiable donde los robots de rescate tengan un desempeño óptimo en diversos tipos de terreno[1].

El objetivo de esta segunda fase del proyecto fue mejorar la eficiencia energética y reducir la cantidad excesivas de cables eléctricos mediante el diseño de dos placas de circuito impreso (PCB), integrando los componentes en un formato más compacto y eficiente.

La metodología consiste en el diseño de dos PCBs utilizando el software KiCad, envío a otro país para su fabricación, recepción, ensamblaje de los componentes electrónicos y la realización de pruebas funcionales para validar el desempeño del sistema optimizado.

II. METODOLOGÍA

A. Prototipo Inicial



a) Conexión de Arduino Mega, módulo L298N y motores con encoder



b) Primera placa PCB con ESP32 y dos controladores de motor TB6612fng

Fig. 1. Primeras conexiones con un microcontrolador, controlador de motores y los motores con encoder

Las primeras conexiones consistieron en un Arduino Mega, un módulo L298N para el control de motores y motores con encoder. Uno de los principales desafíos identificados fue la presencia de diversos módulos individuales, lo que generaba un sistema voluminoso y con exceso de cableado, como se muestran en la figura 1.a. Además, el uso del controlador L298N para el manejo de motores con encoder presentaba limitaciones significativas, como baja eficiencia energética, caída de voltaje interna, generación excesiva de calor y un diseño anticuado en comparación con controladores modernos basados en MOSFETs, tal es el caso del controlador TB6612FNG[2].

Para no continuar con los problemas de conexión por cable, se modificó el primer diseño de PCB cambiando el microcontrolador Arduino Mega por una ESP32 y el controlador de motores L298N por un TB6612FNG, como se muestra en la figura 1.b.

B. Optimización del diseño e implementación iniciales

Para la optimización del consumo de energía, se reemplazó al microcontrolador Arduino Mega por un ESP32, debido a que el primero opera con un voltaje de entrada entre 7 V y 12 V [3], mientras que el ESP32 funciona a 3.3 V, lo que representa una solución más eficiente en términos de consumo energético.

Además, el ESP32 incorpora un microcontrolador de 32 bits y es compatible con múltiples entornos de desarrollo, como Arduino IDE, JavaScript y MicroPython [4]. Su rango de temperatura operativa, que va de -40 °C a 105 °C, lo convierte en una opción ideal para aplicaciones en sistemas embebidos, domótica y robótica [5].

C. Diseño final

Se desarrollaron dos placas PCB utilizando el software KiCAD. Ambas placas fueron enviadas al extranjero para su fabricación. Estas placas son:

1. Control de motores con una ESP32

El diseño de la placa PCB para el control de motores, fue realizado utilizando el software libre KiCAD, una herramienta muy útil para la elaboración de esquemas básicos de circuitos eléctricos, planos eléctricos y la realización de simulaciones [6].

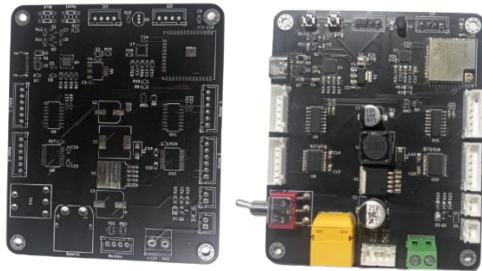


Fig. 2. Placa de circuito impreso para el control de motores

En el diseño se incorporaron diversos componentes, entre ellos: resistencias, capacitores, circuitos integrados, conectores de energía, conectores para motores, un interruptor de encendido y apagado, un microcontrolador ESP32 y un conector USB tipo C para la transferencia de energía e información, como se muestra en la figura 2.

Una vez finalizado el diseño en KiCAD, se realizó una verificación exhaustiva para asegurar que las pistas, los pads y el espaciado entre componentes cumplieran con las reglas de diseño establecidas para su fabricación en una empresa a bajo costo. Esta placa tiene dos (2) capas con un espesor de 1.6mm, utilizando FR-4 como material base, en color negro y serigrafía blanca, acabado superficial HASL y con peso del cobre exterior es de 1oz. Luego de recibirlo, se soldaron los componentes encima de la placa, y se realizó una prueba de funcionamiento.

Los motores DC son los encargados de dar movimiento al robot móvil, estos están conectados a un encoder de cuadratura de efecto Holzer, un dispositivo que mide el movimiento rotacional del eje del motor para proporcionar valores de giro, velocidad y aceleración[7].

El prototipo utiliza 4 motores, uno en cada llanta, lo que permite independizar la velocidad de giro en cada rueda para mejorar el control de desplazamiento del robot móvil. Estos motores se alimentan de 12V y pueden alcanzar velocidades de rotación de hasta 150 RPM, alto par de torsión, excelente conductividad térmica, durabilidad y resistencia al polvo[8].

Este tipo de motor es utilizado en robótica, automatización industrial, impresoras 3D, cámaras motorizadas, vehículos controlados a distancia y muchas más utilidades [9].

El encoder esta se alimenta de 5V y las señales de canal A y B son manejados por un circuito integrado llamado TB6612FNG, compuesto por dos puentes H para el control de dos motores, permitiendo controlar corrientes constantes de 1.2A (3.2A de pico)[10] tal como se muestra en las Figuras 3 y 4.

Motores izquierdos

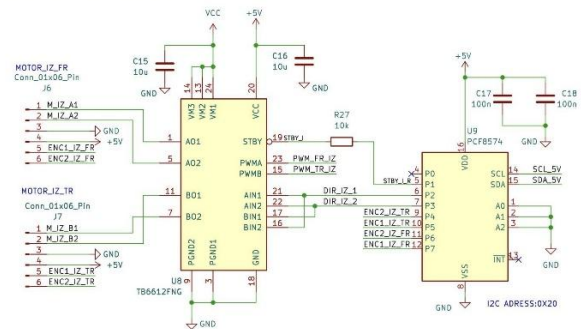


Fig. 3. Esquema de conexiones para el control de motores izquierdo

Motores derechos

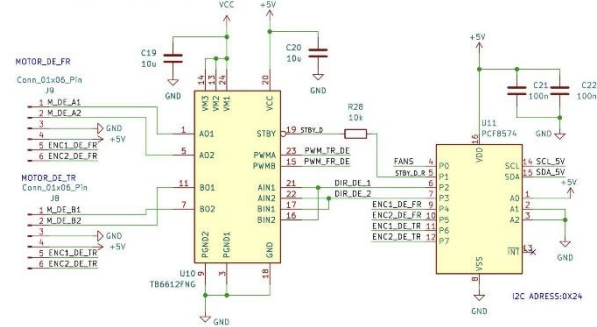


Fig. 4. Esquema de conexiones para el control de motores derechos

Las señales A y B del encoder se transmiten a través del canal I2C mediante un circuito integrado expensor de pines, con el fin de reducir el uso de pines del ESP32 (Figuras 3 y 4). Las terminales positiva y negativa del motor DC están conectadas al controlador de motores TB6612FNG, el cual también se comunica con el expensor de pines.

Los motores izquierdos tienen una dirección I2C distinta a los motores derechos, para coordinar el movimiento del robot móvil.

2. Integración de sensores

Los sensores son dispositivo que detectan cambios físicas o químicos del entorno, entregando información de las variables medidas mediante señales eléctricas que luego son procesados para la interpretación humana. Son muy importantes para la toma de decisiones[11].

Para la elección de los sensores, identificamos los sensores más básicos para un robot móvil, tales como:

1. Sensor MQ2: Utilizado para la detección de humo, es un sensor de óxido metálico conocido como quimioresistores. Este tipo de sensor funciona a través del cambio que se produce en la resistencia del material cuando se detecta la densidad de un gas. Funciona con 5V DC y puede detectar concentraciones de GLP, humo, propano, hidrógeno, metano y monóxido de carbono que van desde 200 a 10,000 partes por millón (ppm)[12].
2. SCD30: Mide temperatura, humedad y CO₂. Es un sensor de CO₂ infrarrojo no dispersivo (NDIR) que ofrece estabilidad y precisión con una exactitud de \pm

30 ppm +3%. Opera entre los 3.3 V a 5.5 V de alimentación y su rango de medida para el CO₂ está entre los 400 y 1,000 ppm. Tiene incorporado un sensor de temperatura y humedad SHT31 que mide valores precisos de humedad relativa del $\pm 2\%$ y temperatura de 0.3% °C para todos los ambientes[13].

3. Sensor ultrasónico para medir distancia y evitar colisiones con obstáculos, trabaja con 5 V de alimentación, a una frecuencia de 40 Hz y un rango de alcance entre los 2cm a 4m[14].
4. Sensor de temperatura adicional para medir la temperatura a la que se encuentra la Placa PCB mientras está en funcionamiento para evitar sobrecalentamiento electrónico, esto con ayuda de un ventilador externo.
5. Acelerómetro: Unidad de Medición Inercial (IMU) de 6 grados de libertad puede medir tanto la aceleración como la velocidad angular en 3 ejes (X,Y y Z). Este sensor se utiliza para medir y reportar la orientación, velocidad angular y aceleración del robot móvil, permitiéndonos saber en qué ubicación y posición se encuentra el prototipo cuando hay fallas de conexión a internet, no se pueda localizar por medio de un GPS satelital o mapas predefinidos o el robot se ha volcado[15].

Conocidos los sensores a utilizar, procedimos a realizar el diseño de la placa de circuito impreso (PCB) con la herramienta KiCad, integrando los sensores de temperatura, humedad, concentración de CO₂, distancia y detección de gases.

Al culminar el diseño en KiCad y verificada la correcta disposición de las pistas, pads y elementos del circuito, se procede a generar los archivos de fabricación para ser enviados a una empresa encargada de la producción de la placa PC.



Fig. 5. Placa de circuito impreso control de sensores

Los sensores se soldaron cuidadosamente a la placa PCB, asegurando una conexión firme y confiable. Posteriormente, se llevan a cabo diversas pruebas funcionales y de continuidad para verificar que cada sensor opere correctamente dentro del sistema, el resultado se aprecia en la Figura 5.

D. Fuente de alimentación eléctrica

La batería es un dispositivo de almacenamiento de energía eléctrica compuesto por celdas que contienen sustancias químicas capaces de generar electricidad mediante reacciones electroquímicas [16]. La elección adecuada de la batería es crucial para el funcionamiento de

un robot móvil, ya que debe proporcionar la energía necesaria para que este opere de manera autónoma, sin depender de una fuente de alimentación externa por cable [17].

La batería utilizada para alimentar el robot móvil es una batería de polímero de iones de litio (LiPo), reconocida por su bajo peso y alta densidad energética, lo que permite una entrega sostenida de energía durante periodos prolongados [18].

La batería elegida está compuesta por tres celdas de 3.7 V conectadas en serie, lo que proporciona una tensión total de salida de 11.1 V [19]. Esta tensión es suministrada directamente a la placa PCB de control para los motores, la cual gestiona el funcionamiento de los cuatro motores del sistema robótico.

Una de las principales características que posee esta batería LiPo es su descarga constante de 40C y la descarga máxima de 50C a los 10 segundos [20]. En especificaciones de descarga de baterías, la "C" se refiere a la tasa de descarga o capacidad de descarga de la batería, expresada como un múltiplo de su capacidad nominal (en amperios-hora, Ah). Por ejemplo, una tasa de 1C significa que la batería se descarga a una corriente igual a su capacidad nominal, mientras que 2C significa que se descarga al doble de esa corriente[20].

E. Ensamblaje del sistema

Al culminar la soldadura de los componentes eléctricos en ambas placas PCB, se procedió con el ensamblaje estructural del sistema. Esta etapa incluyó la integración de la placa ESP32 para el control de los motores, los motores con encoder, la placa con los sensores y el chasis del robot móvil con las ruedas, como se muestra en la Figura 6, asegurando conexiones eléctricas estables. Ambas placas fueron fijadas al chasis mediante tornillería y se realizó una organización cuidadosa del cableado para prevenir posibles fallos durante el funcionamiento del sistema.

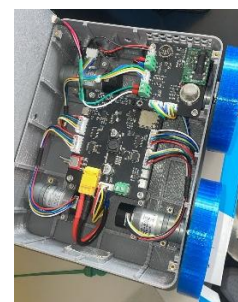


Fig. 6. Sistema Ensamblado

La placa que controla los motores tiene conectada una batería LiPo que proporciona una tensión total de salida de 11.1 V. Esta batería alimenta tanto a la placa PCB de control de motores como a la placa PCB de sensores. Los motores con encoder requieren 12 V para su funcionamiento y 5 V para los encoders, por lo que se incorporó un regulador de voltaje para reducir de 12 V a 5 V, permitiendo alimentar componentes que operan a ese nivel de voltaje.

Adicionalmente, se integró otro circuito reductor de voltaje de 5 V a 3.3 V, destinado a alimentar el microcontrolador ESP32, sus pines GPIO y sensores de bajo consumo. Este diseño asegura una distribución eficiente de

energía, adaptada a los distintos requerimientos de tensión para cada componente.

III. RESULTADOS

La implementación del sistema integrado en las dos PCBs permitió:

- Una reducción significativa del espacio ocupado por los componentes.
- Una disminución del uso del cableado, mejorando la estética y el orden.
- Una mayor facilidad de ensamblaje de los componentes en la placa PCB.
- El mejoramiento la estabilidad de los sensores al reemplazar el protoboard por una placa PCB.
- Se redujo el voltaje de consumo del sistema al reemplazar un microcontrolador de 5V por uno de 3.3V, debido a su menor consumo de energía.
- Menores pérdidas energéticas por calor.
- Se optimiza la conducción de corriente y se disminuye el consumo energético al reemplazar componentes que funcionaban a voltajes elevados.

IV. CONCLUSIONES

Durante las primeras fases del proyecto, pudimos detectar el exceso del cableado eléctrico, que no solo ocupaba espacio innecesario, sino que también generaba riesgos de desconexiones, interferencias y fallos en el sistema. Esto resulta especialmente crítico en un robot móvil que debe desplazarse sobre superficies lisas o irregulares, donde mantener la estabilidad y facilitar el mantenimiento representa un desafío considerable. Para solucionar este inconveniente, se optó por desarrollar dos diseños personalizados de placas PCBs, uno para el control de motores y otro para la integración de los sensores, con pistas más compactas y eficientes, lo que permitió mejorar la conducción de corriente. La integración de los componentes electrónicos en una sola placa no solo mejora la estética del sistema, sino que también disminuye la resistencia eléctrica y contribuye a un funcionamiento más estable y eficiente del robot móvil.

Durante el desarrollo de optimización de la placa para el control de motores, estuvimos trabajando arduamente por reducir tanto el consumo energético como el espacio físico. Gracias al esfuerzo constante y la dedicación, logramos alcanzar los objetivos propuestos.

El ESP32 tiene una particularidad en sus librerías. Al momento de realizar la programación, varía dependiendo del uso al que se le puede aplicar y es común encontrar librerías parecidas pero con funciones levemente modificadas causando incompatibilidad en sus líneas de códigos, por lo que toma mucho tiempo resolver las fallos.

REFERENCIAS

- [1] Y. Salazar and I. Armuelles Voinov, "Towards the Definition of a Low-Cost Search and Rescue Robot Architecture", in *Proc. 2024 IEEE*

Central America and Panama Student Conference (CONESCAPAN), Panama City, Panama, 2024, pp. 1–6. doi: 10.1109/CONESCAPAN62181.2024.10891094.

- [2] R. de Barros, "Guide to Choosing the Best DC Motor Drivers for Arduino", *RachelDeBarros.com*, 2025. [Online]. Fuente: <https://racheldebarros.com/>
- [3] Arduino, "Arduino Mega 2560". 2025. Fuente: <https://arduino.cl/producto/arduino-mega-2560>
- [4] Naylamp Mechatronics SAC. "ESP-WROOM-32-ESP32 WIFI". 2025. [Online]. Fuente: <https://naylampmechatronics.com>
- [5] P. Marwedel, "Embedded System Design: Embedded Systems Foundations of Cyber-Physical Systems, and the Internet of Things", 3rd ed. Cham, Switzerland: Springer, 2021. Fuente: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-60910-8>
- [6] A. Berrueta, A. Ursúa, L. Marroyo, P. Sanchis and I. San Martín, "Electro-thermal model of lithium-ion batteries for electrified vehicles applications", 2015 IEEE 24th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), Buzios, Brazil, 2015, pp. 952–957, doi: 10.1109/ISIE.2015.7281651.
- [7] E. A. Ancco, G. M. Soto, C. R. Maccarcco, B. E. Salas, W. O. Núñez, J. P. Queshuallpa, y W. A. Rios Rado, *Motor DC - Máquinas Eléctricas*, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Facultad de Ingeniería Electrónica, 3.ª revisión, 11 de noviembre de 2019. [En línea]. Fuente: <https://www.academia.edu>
- [8] Amazon.com, "Encoder Metal Gearmotor", *Amazon*, [Online]. Available: <https://www.amazon.com/dp/B07GNFYGYQ>.
- [9] N. R. Setiawan, A. Ma'arif, y N. S. Widodo, "DC Motor Controller Using Full State Feedback", *Control Systems and Optimization Letters*, vol. 1, no. 1, pp. 7–11, 2023, doi: 10.59247/csol.v1i1.3
- [10] *La Web de Ingeniería*, "Driver Motor TB529A3," [Online]. Fuente: <https://lawebdeingenieria.jimdofree.com>
- [11] R. Castillo Barquero, "Qué son los sensores y cuáles son sus tipos", Universidad San Marcos, LEC ING SIST 0081, Nov. 2020. [Online]. Fuente: <https://repositorio.usam.ac.cr>
- [12] Sohibun, I. Daruwati, R. G. Hatika, and D. Mardiansyah, "MQ-2 Gas Sensor using Micro Controller Arduino Uno for LPG Leakage with Short Message Service as a Media Information", *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 2049, no. 1, p. 012068, 2021. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net>
- [13] Sensirion AG, "SCD30 - CO₂ accuracy of $\pm (30 \text{ ppm} + 3\% \text{ MV}) @ 400\text{--}10000 \text{ ppm}$ ", *Sensirion*, 2025. [Online]. Fuente: <https://sensirion.com>
- [14] ElectronicWings, "Ultrasonic Sensor HC-SR04 Interfacing with Arduino Uno", *ElectronicWings.com*, 2025. [Online]. Fuente: <https://www.electronicwings.com>
- [15] A. A. Alzahrani, M. A. Khan, and M. A. Khan, "IMU-based human activity recognition for assistive robotics: A deep learning approach", *Results in Engineering*, vol. 17, 2023. [Online]. Fuente: <https://www.sciencedirect.com>
- [16] U. Farooq and H. Mehrez, "Pre-Silicon Verification Using Multi-FPGA Platforms: A Review," *Journal of Electronic Testing*, vol. 37, pp. 7–24, Feb. 2021. Fuente: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10836-021-05929-1>
- [17] R. Saracco, "Solid State Batteries Coming Sooner Than Expected," *IEEE Future Directions*, Sep. 16, 2020. [Online]. Available: <https://cmte.ieee.org>
- [18] A. G. "Yeklangi, A. Ghafari, F. A. Sima, and S. Akbari, Advancing lithium-ion battery manufacturing: novel technologies and emerging trends", *Journal of Applied Electrochemistry*, vol. 54, pp. 2653–2682, Jun. 2024. [Online]. Available: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10800-024-02142-8>
- [19] Amazon.com, "Turnigy Paquete Lipo 2200mAh 3S 25C". 2025. Fuente: <https://www.amazon.com/-/es/Turnigy-Paquete-Lipo-2200mAh-25C/dp/B0072AEYLW>
- [20] CochecitosRC, "What is a Battery C-Rate? Definition and Calculations," [Online]. Available: https://www.ossila.com/pages/what-is-battery-c-rate?_pos=1&_sid=705be5339&_ss=r