

Vehículo controlado por bluetooth para la monitorización de variables ambientales en lugares de difícil acceso

Bluetooth-controlled vehicle for monitoring environmental variables in hard-to-reach places

Andrés Mauricio Salinas Cala¹
andres.salinas@unipaz.edu.co

Darío Isaí Amaya Martínez¹
darioi.amayam@unipaz.edu.co

Jonathan Alexander Meléndez Rocha¹
jonathana.melendezr@unipaz.edu.co

Jesús Eliecer Redondo Callejas¹
jesus.redondo@unipaz.edu.co

Sebastián Quiñonez Gómez¹
sebastian.quinonez@unipaz.edu.co

Instituto Universitario de la Paz, Escuela de Ingeniería de Producción, Grupo de Investigación en Reingeniería, Innovación Y Productividad, GREIP (1)

Recibido: julio 17 de 2023 – Aceptado: noviembre 27 de 2023

Resumen

El difícil acceso a zonas de desastres ya sea por causas naturales o humanas impide al personal de rescate el ingreso para la búsqueda de personas y establecer el estado actual de la infraestructura afectada. Para evitar el riesgo de personas durante la inspección, se hace necesario el uso de tecnología que logre el registro y el envío de información para la toma de decisiones. Este desarrollo permite la implementación de un vehículo robótico basado en la plataforma Arduino, controlado desde smartphone a través de comunicación bluetooth. En primera instancia, se mide la temperatura y humedad y después se manipula un brazo robótico de 6 grados de libertad para el movimiento de objetos durante el recorrido. Los resultados indican que el prototipo logró la monitorización de la temperatura y humedad del área circundante, y su peso requirió de una batería propia para los servomotores del brazo robótico.

Palabras clave: comunicación inalámbrica, robótica educativa, sensor, teléfono inteligente, variables ambientales

Abstract

Difficult access to disaster areas due to natural or human causes, prevents rescue personnel from organizing their entry to search for people and establish the current state of the infrastructure under review. During the preliminary inspection, people can alert the risk, and it is necessary to use technology to record and send relevant information for decision-making. This development allows the implementation of a robotic vehicle based on the Arduino platform, controlled from a smartphone through Bluetooth communication. In the first instance, DHT11 sensor measures temperature and humidity, and a 6-degree-of-freedom robotic arm moves objects during the path. The results indicate that the prototype reached to monitoring the temperature and humidity of the area, and its weight required the use of a dedicated battery for servomotors of the robotic arm

Keywords: educational robotics, environmental variable, sensor, smartphone, wireless communication

I. INTRODUCCIÓN

Las situaciones de desastre involucran la gestión de recursos para afrontar las pérdidas materiales y humanas, lo que

implica el traslado de brigadas de emergencia y personal voluntario para asistir estos eventos, a menudo, arriesgando sus vidas para salvar a quienes se encuentran atrapados en edificaciones colapsadas o vehículos averiados. Para reducir la

exposición de este personal a potenciales situaciones peligrosas, desde la robótica se trabaja por el desarrollo de prototipos que permitan su inspección previa para obtener información que permita tomar decisiones que ayuden a los rescatistas en la ubicación de personas o animales que estén en peligro. Es así, que desde la academia se promueve la investigación en estos desarrollos, enfocado en fenómenos naturales tal como terremotos, incendios, inundación, huracanes, tsunamis, los cuales son impredecibles y se requiere de una reacción inmediata por sus devastadoras consecuencias [1]. En el caso de los terremotos, se han desarrollado investigaciones al respecto. En [2] se presenta una descripción sobre el estado actual de los robots en la asistencia de terremotos en áreas urbanas donde el impacto es mayor. El prototipo de robot rescatista implementado en [3] está enfocado en eventos de terremotos muy comunes en México. Su diseño permite el acceso a zonas difíciles y cuenta con una cámara para la transmisión de imágenes en tiempo real. En [4] se presenta un prototipo de bajo costo con adecuadas prestaciones para el personal de rescate al contar con operación remota, transmisión de audio y video con monitorización vía internet.

Por otra parte, la robótica como parte esencial de las actividades académicas permite el desarrollo del pensamiento computacional [5], y el diseño e implementación de prototipos tal como se plantea en [6] con la integración de la robótica y los dispositivos móviles para la solución de problemas. Además, establece la importancia de incorporar la robótica en el aula como una herramienta que promueve la preparación de los estudiantes en el aprendizaje de las nuevas tecnologías. En Colombia, la referencia [7] presenta un estudio sobre la actualidad de la robótica educativa en el país y una propuesta de currículo en espiral que puede ser integrada a diversos grados de escolaridad por lo que puede ser una opción en programas de tecnología. Lo anterior, tiene un impacto en la educación mediante la transformación del aula donde el docente como actor especializado en la pedagogía, debe ser también un especialista en la aplicación de la tecnología como parte fundamental del desarrollo de las habilidades que requieren los estudiantes de la era digital. Es así, que desde el programa Tecnología en Operaciones de Sistemas Electromecánicos adscrito a la Escuela de Ingeniería de Producción en el Instituto Universitario de la Paz se trabaja desde el microcurrículo de sus asignaturas para promover estrategias pedagógicas novedosas, las cuales se definen como los escenarios curriculares de organización de las actividades formativas y de la interacción del proceso de enseñanza y aprendizaje de los estudiantes [8]. Es así, que se establece el currículo basado en problemas como un mecanismo para la solución problemática inmersa en el contexto de la región que permita al estudiante tener un rol protagónico al aplicar los conceptos en actividades prácticas con el fin de tener una mayor comprensión y apropiación del conocimiento. De esta manera, se pueden asociar las leyes y técnicas de análisis necesarias para resolver situaciones problemáticas de mayor complejidad. Por tanto, se estipulan actividades formativas que en conjunto logran mejorar el ambiente de aprendizaje, la motivación y la disposición a los ejercicios desarrollados.

Estas actividades son trabajo independiente como una manera de aprovechar el tiempo disponible por fuera del aula y el trabajo grupal en el entendido que el aprendizaje es una actividad social.

En este sentido, desde el programa Tecnología en Operación de Sistemas Electromecánicos, se adelantan esfuerzos para que las aulas de clase se conviertan en espacios de práctica. De ahí surge la idea de implementar un proyecto basado en microcontroladores que aborde diferentes áreas básicas como son el control, comunicación y censado para el acompañamiento de personal de rescate durante eventos de desastre. Para llevar a cabo este proceso, se seleccionó la asignatura de electrónica analógica de tercer semestre para su implementación, ya que su microcurrículo incluye los temas necesarios para comprender el funcionamiento del prototipo robótico para la monitorización de variables de temperatura y humedad en zonas de difícil acceso que incluye un brazo robótico de 6 grados de libertad para la remoción de objetos.

El resto del documento se estructura de la siguiente manera: El capítulo II trata sobre el diseño del prototipo, donde describe el diagrama de bloques y el esquema electrónico del prototipo. El capítulo III presenta la programación realizada en el software Arduino. El capítulo IV describe la interfaz de usuario creada en el sitio web App-inventor. El capítulo V describe los resultados obtenidos y el capítulo VI presenta las conclusiones del proyecto realizado.

II. DISEÑO DEL PROTOTIPO

El prototipo robótico comenzó con la etapa de diseño donde se realizó un esquema inicial para establecer su estructura y la distribución de los componentes móviles. Las dimensiones definidas de la son 40 cm x 28 cm con una altura de 50 cm con el brazo robótico extendido. La figura 1 presenta la vista superior del prototipo, que dispone de una base de 40 cm x 18 cm y grosor de 3mm donde se apoyan sus cuatro ruedas de forma rectangular y el brazo de seis grados de libertad, cuya base está entre las dos llantas delanteras con la forma de un círculo, esto permite una mayor distribución de peso para evitar volcamiento al momento de ejecutar una maniobra por parte del brazo robótico.

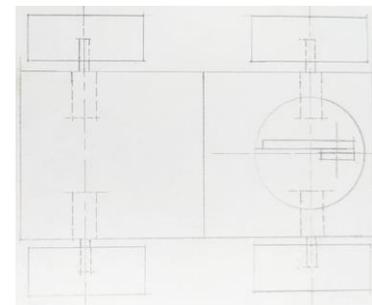


Figura 1. Vista superior del prototipo robótico
Fuente: Autores del proyecto

La figura 2 presenta la vista lateral con la ubicación de las llantas y el brazo robótico en toda su extensión. Además, se

aprecia sobre la llanta trasera una base donde se ubicarán los componentes de control, como la tarjeta Arduino y el controlador de los servomotores. La figura 3 presenta la vista frontal con la ubicación de los motores DC acoplados a las llantas. Además, se observa la separación entre estas y la base del brazo robótico.

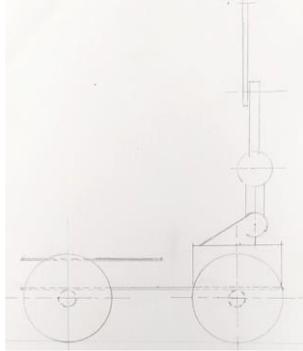


Figura 2. Vista lateral del prototipo robótico
Fuente: Autores del proyecto

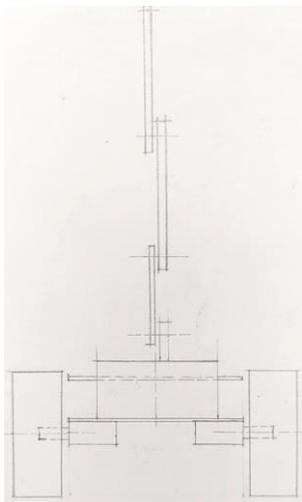


Figura 3. Vista frontal
Fuente: Autores del proyecto

La figura 4 presenta el diseño en el software SolidWorks que describe con mayor detalle el diseño preliminar. Detalla la ubicación del brazo robótico sobre la plataforma de soporte principal, que a su vez sostiene las llantas. Además, de la lámina elevada para los controladores de los servomotores y la tarjeta Arduino.

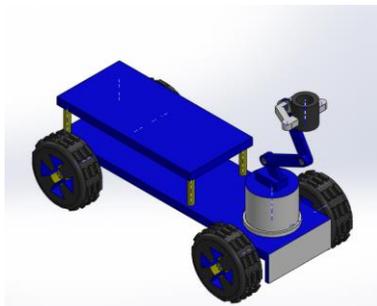


Figura 4. Diseño 3D del prototipo

Fuente: Autores del proyecto

Los componentes seleccionados para el funcionamiento del prototipo robótico se describen en la tabla 1 y su distribución se establece en el diagrama de bloques de la figura 5. El diagrama de bloques presenta la tarjeta Arduino UNO como el dispositivo principal, este se encarga de tomar las decisiones para el funcionamiento del prototipo robótico. Estas funciones son:

- Medición de temperatura y humedad del ambiente con el sensor DHT11
- Iluminación frontal y trasera con el módulo *neopixel* WS2812 de 8 bits.
- Control de motores DC para movimiento del prototipo robótico con el controlador L298
- Control de los servomotores del brazo robótico con el controlador PCA9685.
- Comunicación por bluetooth con módulo HC-06
- El suministro de energía se realizó con una batería LIPO de 7.4 [V] a 3500 [mA].
- El módulo regulador de 5 [V] es necesario, por el nivel de tensión requerido por los servomotores.

Tabla 1. Componentes utilizados en el prototipo robótico.

Nombre Dispositivo	Cantidad	Descripción
Arduino UNO	1	Control del prototipo robótico
DHT11	1	Sensor de temperatura y humedad
Módulo HC-06	1	Comunicación con entre el Arduino UNO y el Smartphone
Módulo L298	2	Control y suministro de potencia a los motores DC acoplados a las llantas
Motor DC	4	Motor DC acoplado a las llantas
Regulador de voltaje 5V a 3 A	1	Permite obtener la tensión de alimentación del driver del servomotor
Batería LIPO	1	Suministro de energía al Prototipo robótico
Módulo PCA9685	1	Driver para el control de los servomotores
Servomotor 1	3	Servomotor para el movimiento del hombro, codo, muñeca.
Servomotor 2	3	Servomotor para el movimiento de la muñeca
Módulo WS2812 de 8 bits	4	Iluminación frontal y trasera, luces de parqueo, detención y direccionales.

Fuente: Autores del proyecto

Los componentes electrónicos descritos anteriormente se conectan de acuerdo con el diagrama esquemático de la figura 6. Esta distribución realizada en el software *Fritzing* permite definir la asignación de puertos antes de realizar la instalación física y así seleccionar la ubicación de cada elemento en las láminas de acrílico.

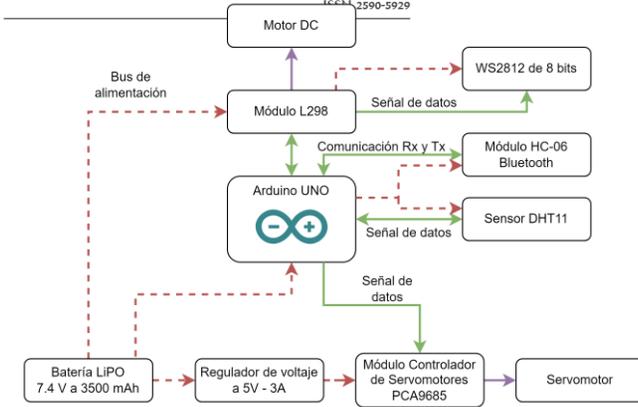


Figura 5. Diagrama flujo del control del brazo robótico
Fuente: Autores del proyecto

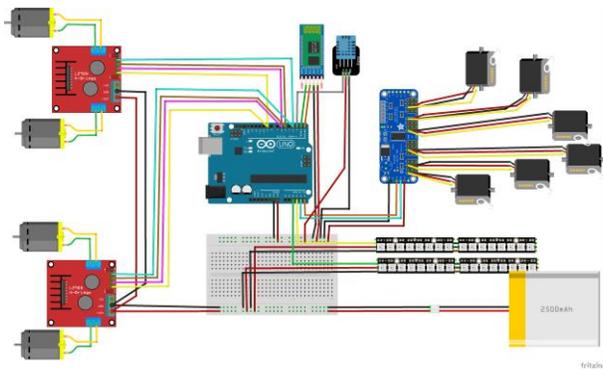


Figura 6. Esquema de conexiones de los componentes electrónicos
Fuente: Autores del proyecto

III. PROGRAMACIÓN DE LA TARJETA ARDUINO

La programación de la tarjeta Arduino UNO fue realizado de acuerdo con el diagrama de flujo de la figura 7. Inicialmente, se declaran las variables y se asignan las librerías para operar los controladores y recibir las señales de los sensores. Posteriormente, se configuran los puertos y se inicializan las librerías. Finalmente, se realiza la lectura del puerto serial con el carácter enviado por el smartphone. Este permite seleccionar los comandos para poner en funcionamiento el prototipo robótico. Las opciones son 1) movimiento del vehículo, donde se tienen los comandos de giro del carro para las direcciones hacia adelante, atrás, derecha, izquierda y detener. Además, dispone del *buzzer* como alarma sonora, luces exploradoras, direccionales activados automáticamente con el cambio de dirección de carro y luces de parqueo. 2) El modo de movimiento del brazo robótico permite enviar los comandos para el funcionamiento de los servomotores del brazo robótico en sus seis grados de libertad. 3) El modo medición visualiza la temperatura y humedad del ambiente cuando el vehículo se detiene.

IV. INTERFAZ DE USUARIO PARA EL CONTROL REMOTO DEL VEHÍCULO

La Figura 8 presenta la interfaz de usuario desarrollada en el sitio web App-inventor del Instituto Tecnológico de Massachusetts. La aplicación consta de dos secciones, la primera es la interfaz gráfica que interactúa con el usuario y la segunda es la programación desarrollada a través de bloques. Desde la aplicación se puede controlar el movimiento del vehículo y los servomotores del brazo robótico. La figura 9 presenta la sección que controla el carro, las flechas encerradas en los cuadros violeta controlan la dirección del carro, los íconos encerrados en los bloques verde son para el encendido y apagado de las luces exploradoras. El símbolo encerrado en el cuadro amarillo activa la bocina y el botón encerrado en el cuadro rojo activa la medición de temperatura y humedad que son visualizados en los cuadros azules laterales. El cuadro azul central es utilizado para la conexión bluetooth con la tarjeta Arduino UNO.

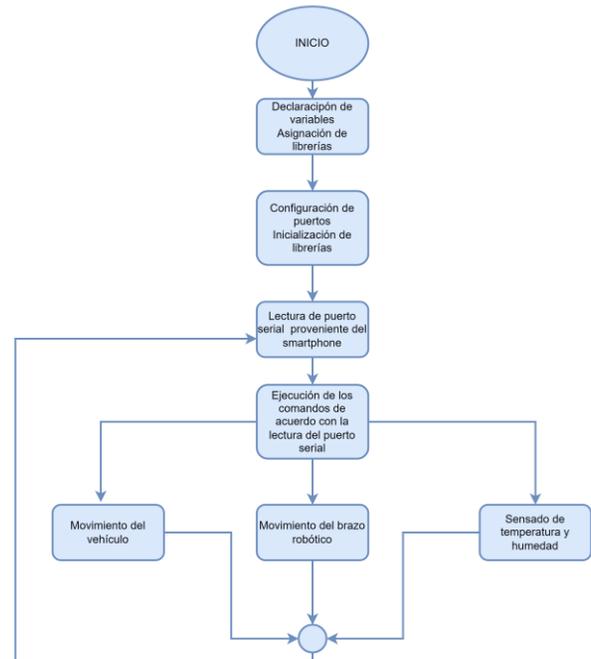


Figura 7. Diagrama de flujo del programa realizado en Arduino
Fuente: Autores del proyecto



Figura 8. Aplicación en App inventor
Fuente: Autores del proyecto

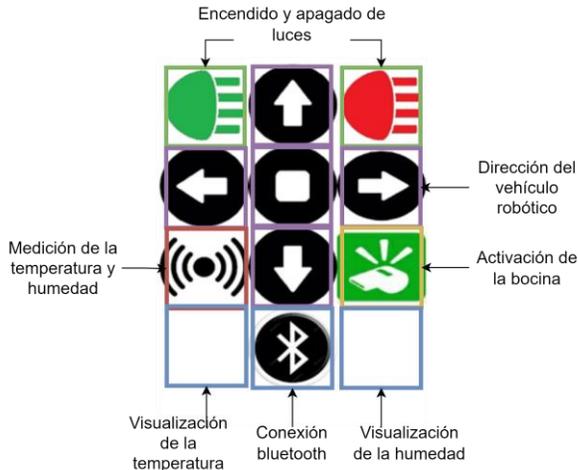


Figura 9. Control de movimiento de carro
Fuente: Autores del proyecto

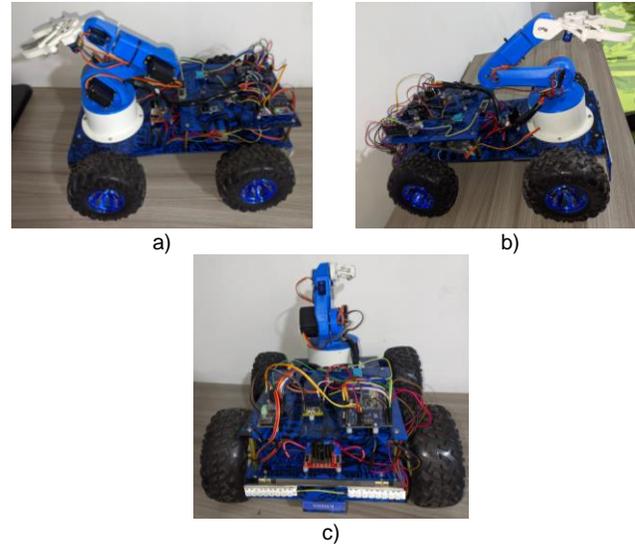


Figura 11. Prototipo implementado
Fuente: Autores del proyecto

La figura 10 presenta la sección de control del brazo robótico de seis grados de libertad. Los botones verticales están asociados a un grado de libertad particular. Los botones de flecha sencilla tienen una velocidad baja para cada articulación y los botones con doble flecha tienen una velocidad mayor. Al oprimir uno de estos botones se observa un movimiento continuo de la articulación hasta que se oprime el botón detener definido para el carro.

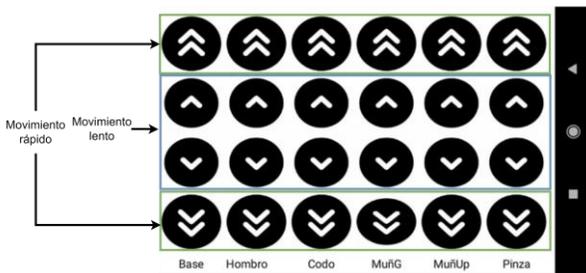


Figura 10. Control de las articulaciones del brazo robótico
Fuente: Autores del proyecto

V. RESULTADOS

La figura 11 presenta el prototipo robótico terminado de acuerdo con las especificaciones definidas en la etapa de diseño. La sección frontal incluye el brazo robótico de seis grados de libertad y la sección trasera dispone de la etapa de potencia y control. El nivel inferior trae los módulos L298, el soporte de los motores DC, la bornera para conexión de la tensión de alimentación y la batería de 7.4 V a 3500 mAh. El segundo nivel contiene la tarjeta Arduino UNO, el sensor DHT11, el regulador de tensión de 5V a 3A y el controlador PCA9685 para la conexión de los seis servomotores de cada grado de libertad del brazo robótico.

En la figura 12, se presenta el prototipo robótico presentado a

la comunidad académica durante la X jornada de emprendimiento y proyección internacional #ParaísoVerde desarrollado por el Instituto Universitario de la Paz. Durante el evento se expuso el prototipo a los asistentes quienes expresaron su agrado al observar este tipo de desarrollos por parte de los estudiantes del programa Tecnología en Operación de Sistemas Electromecánicos. A su vez, los estudiantes presentaron disposición durante la actividad y manifestaron su intención de continuar con la ejecución de este tipo de proyectos.

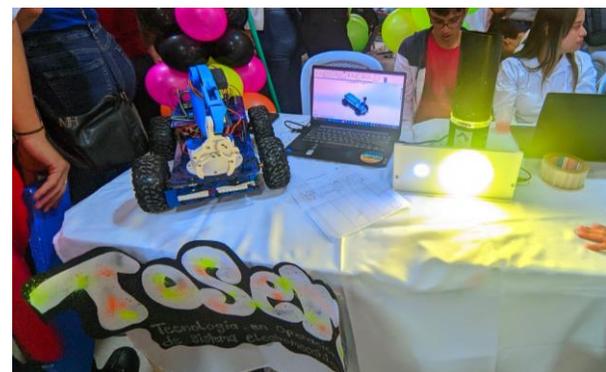


Figura 12. Presentación en evento institucional.
Fuente: Autores del proyecto

VI. CONCLUSIONES

Los resultados indican que el vehículo es pesado para las estimaciones iniciales lo que implicó un esfuerzo para los motores de las ruedas, por tal razón se dificulta el giro en su propio eje vertical, ya sea izquierda o derecha. Por otra parte, se presentó dificultad en la programación del envío de las mediciones de temperatura y humedad por la pérdida de datos y esto afectó el movimiento del vehículo robótico. Además, la

batería no fue suficiente para su funcionamiento ya que, al ejecutar el brazo, las ruedas y las luces, estas últimas perdían su intensidad debido al excesivo consumo de corriente. Esto requirió el uso de una batería exclusiva para los servomotores del brazo robótico. En cuanto a la estrategia de aprendizaje aplicada, se destaca los comentarios positivos por parte de los estudiantes en la realización de proyectos de carácter tecnológico que apliquen los conceptos y teorías revisados en el aula de clase para su comprensión efectiva de acuerdo con lo estipulado en el microcurrículo.

VII. AGRADECIMIENTO

Estudiantes de la asignatura electrónica analógica del programa Tecnología en Operación de Sistemas Electromecánicos del Instituto Universitario de la Paz por su dedicación en las actividades realizadas durante la implementación del prototipo.

VIII. REFERENCIAS

- [1] M. Wu, “Robotics Applications in Natural Hazards”, *Highlights in Science, Engineering and Technology*, 2023, doi: 43. 273-279. 10.54097/hset.v43i.7429.
- [2] F. I., S. Hou, C. Bu, & B. Qu, “Rescue Robots for the Urban Earthquake Environment”. *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*, 17, E181, 2023, doi:10.1017/dmp.2022.98
- [3] J. Álvarez-Cedillo, T. Sánchez, R. Sandoval, J. Gutiérrez, A. Nava-Vega, “Diseño de un robot rescatista para terremotos en México”. *Research in Computing Science*. 148. 31-41, 2019, doi: 10.13053/rcs-148-2-2
- [4] S. Sharmin, S. I. Salim, K. R. I Sanim, (2019). A Low-Cost Urban Search and Rescue Robot for Developing Countries, *2019 IEEE International Conference on Robotics, Automation, Artificial-intelligence and Internet-of-Things (RAAICON)*, , 60-64, doi: 10.1109/RAAICON48939.2019.27.
- [5] C. Ángel-Díaz, E. Segredo, R. Arnay, C. León. Simulador de robótica educativa para la promoción del pensamiento computacional. *RED - Revista de Educación a Distancia*. 2020, 20(63), 1-30, doi:10.6018/red.410191
- [6] D. Restrepo-Echeverri, J. Branch-Bedoya, J Jiménez-Builes, “Educación 4.0: integración de robótica educativa y dispositivos móviles inteligentes como estrategia didáctica para la formación de ingenieros en STEM”, *DYNA*, 89(222), pp. 124-135, special engineering education, 2022
- [7] G. Pérez Acosta, M Mendoza-Moreno. “Robótica Educativa: Propuesta Curricular Para Colombia.” *Educación y Educadores*, 23, no. 4, 2020, 577-95. doi:10.5294/edu.2020.23.4.2.

[8] Escuela de Ingeniería de Producción. “Proyecto Educativo del Programa Ingeniería de Producción”, Instituto Universitario de la Paz, 2023



Andrés Mauricio Salinas Cala. Recibió el título de pregrado en Ingeniería Electrónica de la Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia, en 2009. Es especialista en Docencia Universitaria de la Universidad Cooperativa de Colombia, en 2018. Entre el 2010 y 2019 se desempeñó como docente en las Unidades Tecnológicas de Santander y Universitaria de Investigación y Desarrollo en el Municipio de Barrancabermeja en el área de

matemáticas y electrónica. Actualmente, es docente ocasional tiempo completo de la Escuela de Ingeniería de Producción en el Instituto Universitario de la Paz. Desde el año 2021 ha estado desarrollando sus estudios de Maestría en Ingeniería Electrónica en la Universidad Industrial de Santander. Sus intereses de investigación se focalizan en la operación de microrredes eléctricas aisladas y algoritmos de control jerárquico.



Darío Isai Amaya Martínez. Estudiante de pregrado del programa Tecnología en Operación de Sistemas Electromecánicos en el Instituto Universitario de la Paz, Barrancabermeja, Colombia.



Jonathan Alexander Meléndez Rocha. Estudiante de pregrado del programa Tecnología en Operación de Sistemas Electromecánicos en el Instituto Universitario de la Paz, Barrancabermeja, Colombia.



Sebastián Quiñonez Gómez. Estudiante de pregrado del programa Tecnología en Operación de Sistemas Electromecánicos en el Instituto Universitario de la Paz, Barrancabermeja, Colombia.



Jesús Eliecer Redondo Callejas. Estudiante de pregrado del programa Tecnología en Operación de Sistemas Electromecánicos en el Instituto Universitario de la Paz, Barrancabermeja, Colombia.