

Innovación educativa: Robótica y electromagnetismo respondiendo a los desafíos del futuro

Educational innovation: Robotics and electromagnetics meeting the challenges of the future.

Yohan-Ramón Godoy-Graterol 

"Innovación Tecnológica y Productiva, Liceo José Antonio Abreu, 3150, Trujillo Estado Trujillo, Venezuela

Resumen

Este estudio presenta el desarrollo de un prototipo innovador de brazo robótico móvil autónomo, capaz de manipular objetos metálicos en entornos peligrosos mediante el uso de electromagnetismo. Esta solución tecnológica, diseñada a través de un riguroso proceso experimental, ofrece una respuesta eficaz a desafíos industriales y de emergencia. Los resultados obtenidos demuestran la viabilidad y la eficiencia del sistema, el cual combina una estructura mecánica robusta con un software de control avanzado. Este proyecto se erige como una herramienta educativa invaluable, fomentando el aprendizaje activo y el desarrollo de habilidades STEM en estudiantes, dando un ejemplo práctico de cómo la tecnología puede resolver problemas reales y complejos.

Palabras clave: Electromagnetismo, Programación informática, Radiactividad, Robótica.

Abstract

This study presents the development of an innovative prototype of an autonomous mobile robotic arm capable of manipulating metal objects in hazardous environments through the use of electromagnetism. This technological solution, designed through a rigorous experimental process, offers an effective response to industrial and emergency challenges. The results obtained demonstrate the feasibility and efficiency of the system, which combines a robust mechanical structure with advanced control software. This project stands as an invaluable educational tool, fostering active learning and the development of STEM skills in students, providing a practical example of how technology can solve real and complex problems.

Keywords: Electromagnetism, Computer Programming, Radioactivity, Robotics.

1. Planteamiento del Problema y Justificación

Los robots, protagonistas de la cuarta revolución industrial, desempeñan un papel cada vez más importante en tareas de alto riesgo, protegiendo la salud y la seguridad de los trabajadores. En este contexto, el auge de la energía nuclear ha impulsado la implementación de rigurosas medidas de seguridad en las centrales nucleares. Aunque el Consejo de Seguridad Nuclear asegura que estas instalaciones son cada vez más seguras, el riesgo de accidentes no puede descartarse por completo. La tragedia de Chernobyl, ocurrida en 1986 (Alcalde, 2024), sirve como un sombrío recordatorio de las graves consecuencias de estos eventos, con millones de

personas expuestas a radiación y estimaciones de hasta 200.000 muertes a largo plazo atribuidas a este desastre.

La relevancia de este proyecto se centra en la prevención y mitigación de las consecuencias de un accidente nuclear en una planta de energía. Ante una emergencia de este tipo, el robot entraría en acción para retirar de manera segura los residuos radiactivos y depositarlos en un contenedor sellado, minimizando así la contaminación del entorno.

Alineado con el Objetivo de Desarrollo Sostenible número 9 (Naciones Unidas, 2018), este proyecto promueve la industrialización sostenible y la innovación. Al emplear tecnología robótica para gestionar los residuos nucleares, se contribuye a proteger el medio ambiente y a garantizar la

*Autor para la correspondencia: johannsmat@yahoo.com

Correo electrónico: johannsmat@yahoo.com (Yohan Godoy Graterol).

Historial del manuscrito: recibido el 06/07/2024, última versión-revisada recibida el 07/10/2024, aceptado el 09/10/2024, en línea (postprint) desde el 15/10/2024, publicado el 15/11/2024. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14189667>

seguridad de las personas. Como señala (Cárdenas, 2019), los avances tecnológicos son fundamentales para encontrar soluciones duraderas a los desafíos ambientales.

Haciendo algunas referencias a investigaciones en el área, se pudo constatar que el trabajo de (Morales et al., 2019), en base al análisis de la estructura de un brazo robótico a través de varias simulaciones, se enfocaron en la cantidad de servomotores a utilizar y la carga máxima a manipular. Para este proyecto, se tomó en cuenta la fuerza electromotriz generada por el electroimán para poder mantener el objeto en un cierto tiempo y el tipo de servomotor para generar mayor torque. En (EGADE, 2012), se propuso el diseño y construcción de un brazo robótico para una empresa de industria automotriz que se encargue de la extracción de las piezas una vez que están vulcanizadas, la cual servirán para el diseño y desarrollo de una celda de manufactura compacta a nivel piloto, para la fabricación de aisladores de vibración. Una vez más, se constata que la industria 4.0 emplea estos tipos de robots para agilizar los tiempos de producción, pero también a no exponer a los seres humanos a tener contacto con materiales a altas temperaturas.

Con este proyecto, el Liceo José Antonio Abreu del Municipio Trujillo, Estado Trujillo, Venezuela, se posiciona a la vanguardia de la educación en ciencia y tecnología. Al aplicar los principios de la robótica educativa, nuestros estudiantes de primer año de media general, con el apoyo de un tutor, han desarrollado una solución innovadora que responde a desafíos reales del mundo cotidiano. Esta iniciativa no solo fomenta el aprendizaje de conceptos físicos, sino que también cultiva la creatividad y el pensamiento crítico en nuestros jóvenes.

Dado la relevancia de los robots móviles autónomos y su potencial para realizar diversas tareas, surge la necesidad de investigar a fondo las diferentes categorías de estos dispositivos. El objetivo principal de esta investigación es responder a las siguientes preguntas:

¿A qué categoría pertenece el robot ideal para el proyecto? Es decir, ¿qué tipo de robot móvil (por ejemplo, industrial, de servicio, educativo) se adapta mejor a las necesidades específicas del proyecto?

¿Cómo puede este robot contribuir al bienestar de la humanidad? ¿Qué tareas podría realizar para mejorar la calidad de vida de las personas?

¿Es factible desarrollar un prototipo a escala real que cumpla con los objetivos planteados? ¿Qué recursos y conocimientos son necesarios para llevar a cabo este proyecto?

2. Objetivos

2.1. Objetivo general:

Desarrollar un prototipo de brazo robótico móvil autónomo, que utilice el electromagnetismo para manipular objetos metálicos en situaciones que pongan en riesgo la seguridad humana, ofreciendo así una solución tecnológica a problemas industriales y de emergencia.

2.2. Objetivos específicos:

Diseñar una estructura mecánica robusta y versátil capaz de soportar las cargas de trabajo requeridas y permitir una amplia gama de movimientos, garantizando la estabilidad y precisión del brazo robótico durante su operación

Implementar un sistema de control autónomo basado en algoritmos de planificación de movimientos y control de trayectoria, que permita al brazo robótico ejecutar tareas de manipulación de objetos metálicos de manera precisa y eficiente dentro de un espacio de trabajo definido

Desarrollar un prototipo funcional que integre la estructura mecánica y el sistema de control, y validar su desempeño a través de una serie de pruebas rigurosas que verifiquen su capacidad para realizar las tareas programadas de manera confiable y segura

3. Marco Teórico

Los fundamentos teóricos que sustentan esta investigación se presentan a continuación:

3.1 La robótica:

En la figura 1 se muestra el concepto de robótica en un mapa conceptual, que incluye dos ramas importantes para su desarrollo como la programación y electrónica; ésta última es digital puesto que utiliza microcontroladores y tarjetas electrónicas. Estos dispositivos nos permiten conectar los distintos actuadores y sensores para controlar de forma física el robot. Para lograr controlar las distintas partes del robot, es necesario programar las acciones a través de un pseudocódigo representado en un lenguaje.

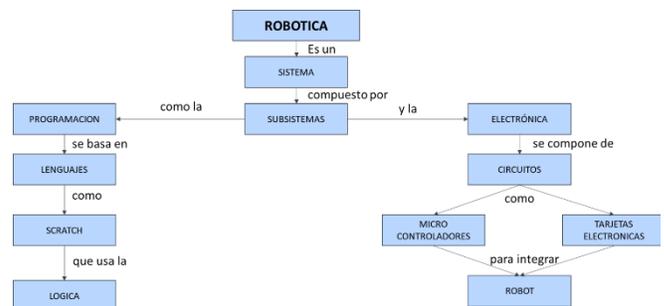


Figura 1: Mapa conceptual sobre la robótica

3.2 la robótica educativa

Es una herramienta de aprendizaje que permite a los estudiantes desarrollar competencias científicas y tecnológicas. Esta estrategia aúna distintas disciplinas y los conocimientos se transmiten de forma transversal, estimulando el pensamiento lógico y computacional, así como la creatividad y otras habilidades técnicas. Esta rama de la tecnología educativa promueve el aprendizaje activo de las materias STEM (Ciencias, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas), suscitando el interés por ellas en los estudiantes.

3.3 Electromagnetismo: origen, funcionamiento y aplicaciones

Hasta 1820 los fenómenos eléctricos y los fenómenos magnéticos estaban considerados como independientes. Como en otros grandes descubrimientos de la historia, una casualidad ayudó a Hans Christian Oersted a descubrir que ambos estaban relacionados, al observar que la orientación de la aguja de una brújula variaba al pasar corriente a través de un conductor próximo a ella. El electromagnetismo es la descripción clásica de la interacción electromagnética, una de las cuatro interacciones fundamentales. Su ámbito es tan amplio que difícilmente podríamos imaginar un área de la Física donde no aparezcan fenómenos electromagnéticos (Khan Academy, 2024). En nuestra vida diaria experimentamos dos fuerzas fundamentales:

1. La fuerza gravitatoria, que nos mantiene unidos a la Tierra y que hace que orbitemos junto con ella alrededor del Sol con un período bien conocido por todos (1 año).

2. La fuerza electromagnética entre objetos cargados, es la fuerza involucrada en las transformaciones física y químicas de átomos y moléculas. Es cuatro veces más intensa que la fuerza gravitatoria y tiene dos sentidos (positivo y negativo). Como se dice comúnmente: cargas opuestas se atraen y cargas iguales se repelen. Sin esta interacción no existirían los átomos; por lo tanto, no existiría el agua para beber ni, muchos menos, nosotros mismos.

Un electroimán se caracteriza, por una parte, por su efecto magnético y por otra parte por depender de una fuente de alimentación de energía eléctrica. Si está desconectado de la fuente eléctrica, su campo magnético desaparece. El tipo de electroimán que se empleó en dicho prototipo es el resistivo. Están compuestos de un hilo conductor que suele ser de cobre enrollado alrededor de un núcleo de hierro. Se genera un campo magnético gracias a la circulación de corriente eléctrica. Un electroimán puede tener numerosos usos y pueden utilizarse en diversos dispositivos, herramientas y sistemas. Por ejemplo: En la robótica y maquinaria, como robots industriales, motores, prensas, electrodomésticos, maquinaria textil y hornos industriales.

3.4 Scratch

Es un lenguaje de programación creado por el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT). Su característica

principal, es que permite el desarrollo de habilidades mentales mediante el aprendizaje de la programación sin tener conocimientos profundos sobre el código. Lo interesante de este programa, es que las instrucciones o comandos tienen forma de rompecabezas y la misión es armar esas piezas para conseguir una determinada acción, convirtiéndolo en algo parecido a un juego. Algunas de sus ventajas, es desarrollar el pensamiento lógico-matemático, tener la posibilidad de obtener resultados complejos a partir de ideas simples y asumir conceptos matemáticos como: coordenadas, variables, algoritmos, aleatoriedad.

3.5 La energía nuclear

Es la energía que se libera como consecuencia de la reacción que se produce cuando se dividen los núcleos atómicos pesados. Ésta es también denominada Fisión Nuclear. El uranio es uno de los combustibles que permiten que se lleve a cabo este proceso, y es también el más utilizado en la mayoría de los reactores nucleares, por ser uno de los minerales más abundantes en la naturaleza

3.6 Máquina de Control Numérico Computarizado (CNC)

Es aquella máquina en la que pueda implementarse un movimiento automático y programado, para este proyecto se usó una cortadora por láser con la capacidad de controlar dos, tres o más ejes de movimiento mediante motores eléctricos, generalmente motores paso a paso. Según (Bartolomé, 2018) afirma que el “control del movimiento de la herramienta se realiza mediante un código de programación que se genera desde un ordenador, y que un controlador interpreta”.

3.7 Modelo híbrido mobile manipulator

También llamado MoMa, Mobile Cobot o Mobot. El modelo Mobot (Robot móvil), implementado a partir del 2020 son robots que pueden desarrollar acciones que los conduzcan a una tarea deseada, unos actuadores para realizar dichas acciones, unos sensores para captar datos del entorno y así interactuar con éste; ya sea de forma autónoma o semiautónoma. Sus aplicaciones abarcan desde servicios de entrega, automatización de almacenes, vigilancia y exploración, por ejemplo, vehículos guiados autónomos (AGV) en almacenes, robots de reparto, entre otros.

4. Metodología

Este proyecto requerirá un diseño experimental para responder a las preguntas planteadas. Inicialmente, se seleccionarán los materiales más adecuados, considerando su rigidez y versatilidad, para la construcción del prototipo. Posteriormente, se emplearán ecuaciones para determinar la fuerza necesaria del electroimán y definir los parámetros de los componentes electrónicos. Finalmente, se desarrollará la programación del sistema robótico para garantizar su correcto funcionamiento.

Para la construcción del prototipo se requiere de un material sólido y estable como la madera MDF. Para poder trabajar con este tipo de madera fue necesario contar con el apoyo de un tecnólogo de la localidad que trabaja con una máquina de Control Numérico por Computadora (CNC) con la capacidad de cortar madera y otros materiales a través de un diodo láser. La entrevista realizada al tecnólogo (Graterol, 2023), permitió dar a conocer en detalle el funcionamiento de la máquina CNC y sus partes. En la figura 2, se muestra la estructura mecánica del brazo con las partes cortadas, la cual se compone del cuerpo y los brazos con sus articulaciones.

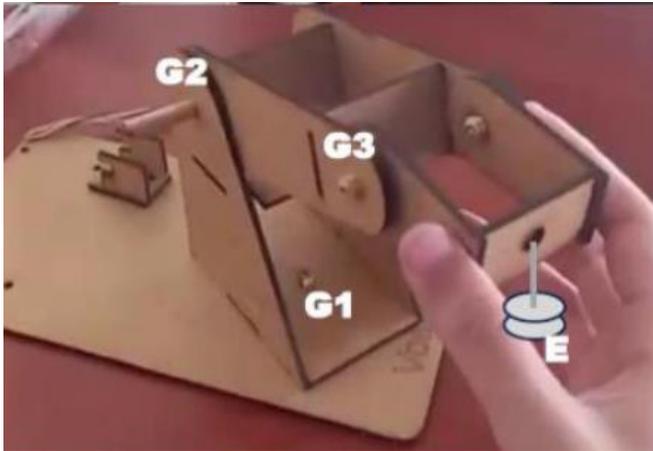


Figura 2: Estructura principal del prototipo con madera MDF y sus articulaciones G1, G2 y G3.

Para dotar al prototipo de movilidad y capacidad de carga, se integraron componentes de un carro robot, como ruedas motrices con Encoder y una rueda loca. Inicialmente, se controló el brazo y el desplazamiento del robot mediante joysticks. Posteriormente, se buscó otorgarle autonomía al sistema, eliminando los joysticks y añadiendo un sensor ultrasónico para permitir la toma de decisiones y la ejecución de tareas de manera autónoma.

Para lograr lo mencionado anteriormente, fue necesario implementar los siguientes componentes electrónicos: Electroimán, protoboard, servomotores SG90 y MG90S, cables jumpers, motores Encoder, motor paso a paso, Arduino UNO R3, Mini UPS PK3, Integrado Shield L293d, Resistencia, Sensor Ultrasonido, Módulo controlador de motores L298N, Módulo relé. En la figura 3, se muestra la evolución del prototipo; ya que posee en su estructura partes de los componentes electrónicos que se mencionaron, cumpliendo las funciones de un robot manipulador con movilidad

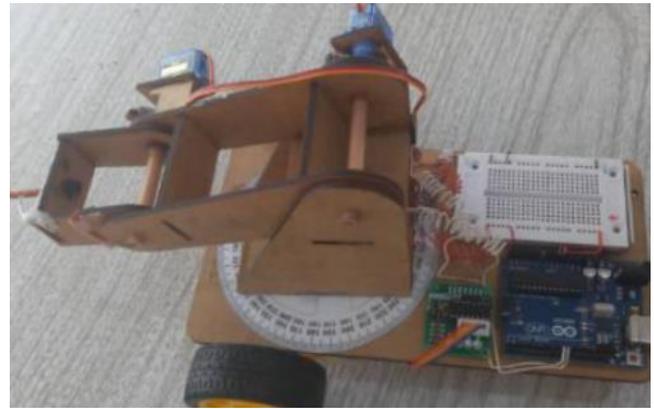


Figura 3: Partes electrónicas incluidas en la estructura del prototipo

Como se pudo observar en la Figura 2, el prototipo posee tres (3) grados de libertad para efectuar movimientos en el robot tanto para la recogida como la colocación de objetos. En la Figura 4, se muestra la libertad de movimiento que se puede obtener con el robot para poder manipular objetos. La primera articulación está ubicada en la base de la estructura, la cual permite que el brazo pueda girar 110° de barrido para abarcar todos los posibles objetos en el suelo. Una segunda articulación permite que el brazo se mueva de forma vertical con un giro de 70° de libertad y la tercera articulación con 20° de libertad para recoger el objeto y separarlo del suelo para su traslado.

El momento inercial producido en la primera articulación ubicada en la base de la estructura es capaz de mover hasta 300g por el motor paso a paso y las dos últimas articulaciones son capaces de mover un objeto de 1,8kg situado a 1 cm del eje. En este caso, cada eslabón está anclado al rotor a una distancia de 3cm del eje, lo que implica que cada articulación puede mover un objeto de 600g.



Figura 4: Grados de libertad de cada articulación del brazo

Cálculos de la fuerza magnetomotriz producido por el electroimán

Dado que el electroimán que se usó en el proyecto fue extraído de un relé de 12v. Se debe tomar en cuenta el número de vueltas de la bobina y la intensidad de corriente que pasa por ella. Empleando la siguiente ecuación, tenemos:

$$F = \frac{\mu N^2 I^2}{2L^2} \quad (1)$$

La ecuación (1) representa la fuerza magnética ejercida por el electroimán. Sustituyendo los valores, tenemos que la permeabilidad del conductor (μ) equivale 0,0000012 H/m. Mientras que la longitud del núcleo ferroso es de 0,18m y la cantidad de vueltas sobre el mismo es de 3000 aproximadamente, pasando una corriente de 0,28A. Finalmente, obtenemos:

$$F = \frac{0.0000012 \text{ H/m} \cdot 3000^2 (0.28\text{A})^2}{2(0.18\text{m})^2} \quad (2)$$

$$F = 13.06 \text{ Tesla/m}^2 \quad (3)$$

Con esta cantidad de fuerza obtenida en (3) es suficiente como para levantar una tuerca. Al alimentar la bobina con 12v la corriente pasa por el conductor, creando un campo magnético inducido, el cual permite atraer objetos metálicos.

La electrónica digital y microcontroladores

La electrónica es una rama de la ingeniería que se dedica al diseño, desarrollo y aplicación de circuitos eléctricos. Estos circuitos, compuestos por componentes activos (diodos, transistores, circuitos integrados) y pasivos (resistores, inductores, condensadores), permiten controlar el flujo de electrones para procesar información, transmitir señales y realizar una amplia variedad de tareas.

En este proyecto se empleó un microcontrolador ATmega328P (Arduino.cc, 2024), programado a través de Arduino IDE, como cerebro del sistema. Esta placa, capaz de procesar tanto señales digitales como analógicas, fue equipada con diversos sensores para interactuar con el entorno. Por ejemplo, se utilizó un sensor ultrasónico, inspirado en el sistema de ecolocalización de los murciélagos, para detectar obstáculos y evitar colisiones. Además, se incorporó un módulo de motores L298N, el cual permitió controlar la velocidad y dirección de los motores DC, brindando movilidad al robot.

La siguiente sección presenta parte de la secuencia de programación que guía al sistema en la ejecución de sus funciones. A través de una lógica bien definida, el sistema es capaz de realizar tareas complejas de manera ordenada y precisa.

```
#include <Servo.h> //incluye la biblioteca de servos
#include <NewPing.h> //para el ultrasonido
Servo servo1x; //crea objeto servo para servo1x
Servo servo2y; //crea objeto servo para servo2y
int i=0;
//pines para el paso a paso
int motorPin1 = 12; //pin8----1N4
int motorPin2 = 11; //pin8----1N3
```

```
int motorPin4 = 9; //pin8----1N1
//pines para motores DC
int motor1Pin1 = 2; //definir motor1 pin1
int motor1Pin2 = 3; //definir motor1 pin2
int motor2Pin1 = 4; //definir motor2 pin1
int motor2Pin2 = 5; //definir motor2 pin2
// Pin para el relé
continua...
```

termina así...

```
// -----CARGAMOS-----
carga();
//giro 180° en unos 3seg
derecha(3000); //enviamos 3seg para el giro
adelante_pared(); //Adelante para conseguir pared
//giro 90° en unos 1.5seg
derecha(1500); //enviamos 1.5seg para el giro
adelante_pared(); //Adelante para conseguir pared
//giro 90° en unos 1.5seg
derecha(1500); //enviamos 1.5seg para el giro
adelante_pared(); //Adelante para conseguir pared
// -----DESCARGAMOS-----
descarga();
//giro 180° en unos 3seg
derecha(3000); //enviamos 3seg para el giro
adelante_pared(); //Adelante para conseguir pared
izquierda(1500);
adelante_pared(); //Adelante para conseguir pared
izquierda(1500);
}
```

5. Resultados y conclusiones

Una vez que la estructura mecánica del robot fue ensamblada y asegurada, se procedió a integrar los componentes electrónicos. Los actuadores, encargados de generar el movimiento, fueron conectados a la placa Arduino a través de una protoboard. Para optimizar esta conexión y prevenir errores, se utilizó previamente el software Tinkercad para diseñar y simular el circuito, garantizando así una disposición eficiente de los componentes.

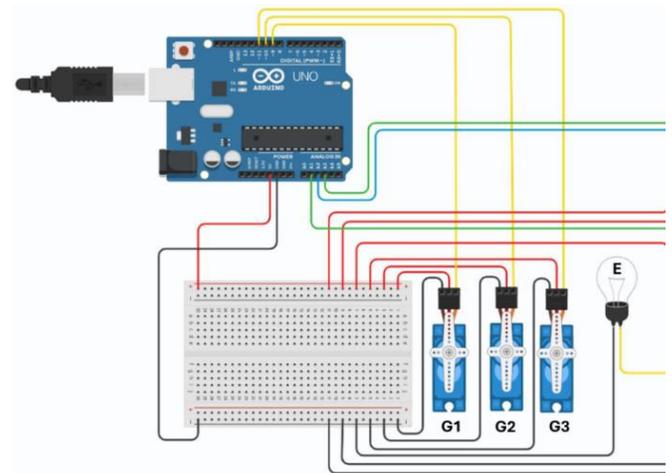


Figura 5: Conexiones de los elementos a la placa Arduino

Como se muestra en la figura 5, el corazón del robot es la placa Arduino, alimentada por un Mini UPS PK3 de 9V DC para garantizar su funcionamiento autónomo. Desde los pines de 5V de Arduino, se suministra energía a la protoboard, la cual a su vez alimenta a los tres servomotores. Para controlar con precisión el movimiento de los servomotores, se utilizan señales PWM provenientes de los pines digitales de Arduino y transmitidas a través de un módulo o una shield. El electroimán, representado por el bombillo en la figura 5, requiere una alimentación externa de 12V DC. Al aplicar una señal al borne SIG del electroimán, este se magnetiza y atrae objetos metálicos, gracias a su conexión a los terminales positivo (VCC) y negativo (GND).

Una vez ensamblada la estructura del robot y conectados todos los componentes electrónicos, se procede a programarlo utilizando la plataforma Visualino. Este entorno de desarrollo visual permite crear programas de manera intuitiva mediante la conexión de bloques de código, similar a armar un rompecabezas. La gran ventaja de Visualino radica en su facilidad de uso, ya que no requiere conocimientos avanzados de programación. Cada bloque representa una función específica y está categorizado por colores, lo que facilita la comprensión y organización del código.



Figura 6: Parte de la programación por bloque en Visualino

La programación gráfica en Visualino, como se muestra en la figura 6, inicia definiendo variables globales para controlar el ángulo de giro de cada servomotor. A continuación, se utilizan bloques matemáticos para asignar los pines PWM

correspondientes a cada servomotor. Para establecer una interacción en tiempo real con el usuario, se conectan los potenciómetros (representados por joysticks) a los pines analógicos de Arduino, permitiendo controlar el ángulo de giro de los servomotores de forma manual. Una vez configurada la lógica de control, Visualino genera automáticamente el código fuente en Arduino, el cual puede ser cargado directamente en la placa para ejecutar el programa.

Una vez cargados los datos en la placa Arduino, el brazo robótico operará de forma autónoma, utilizando un sensor ultrasónico para detectar y evitar obstáculos en su recorrido. Siguiendo la ruta establecida (ver figura 7), el robot se dirigirá al punto de recolección donde se encuentran los residuos ferromagnéticos, simulando los desechos radiactivos. Una vez allí, el brazo manipulará los residuos y los depositará en un contenedor de acopio. Posteriormente, este contenedor será cubierto y sellado para garantizar la contención de la radiactividad y prevenir la contaminación ambiental.

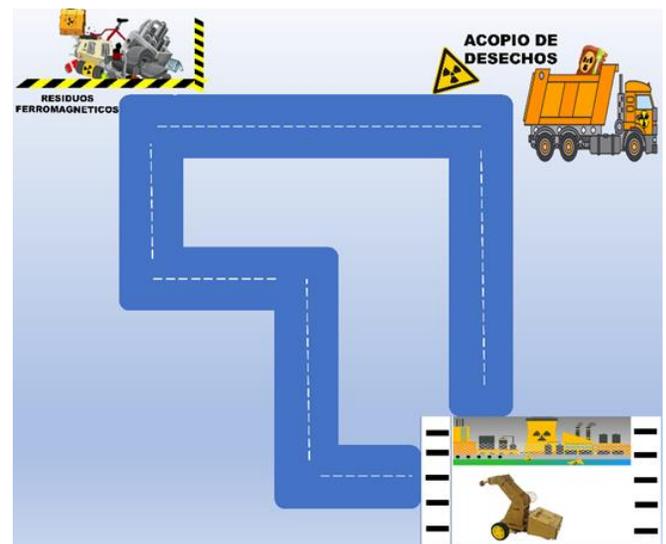


Figura 6: Boceto del circuito a recorrer por el brazo robótico

Como se observa en la figura 7, este robot ha sido diseñado para operar en entornos extremos, como zonas afectadas por desastres nucleares. Su principal función es la manipulación segura de residuos radiactivos, facilitando su traslado a áreas de almacenamiento y contribuyendo así a mitigar los riesgos para la salud humana. Gracias a su diseño colaborativo, inspirado en los Cobots, este robot es capaz de realizar tareas de manipulación con precisión y fuerza, similar a un brazo humano. Para su implementación en equipos de respuesta a emergencias, como los cuerpos de bomberos, es necesario llevar a cabo un exhaustivo estudio de materiales y componentes, priorizando aquellos que garantizan su resistencia a la radiación y su durabilidad en condiciones adversas. Asimismo, se requiere el desarrollo de módulos electrónicos de alta potencia y actuadores capaces de generar un torque elevado en el brazo robótico, a fin de asegurar un desempeño óptimo en las operaciones de rescate.

A manera de reflexión final, la robótica educativa se ha convertido en una herramienta fundamental en la educación actual, fomentando el aprendizaje interdisciplinario y la resolución creativa de problemas. Su impacto es tal que varios países latinoamericanos han incorporado la robótica en sus currículos educativos, desde primaria hasta bachillerato. La programación por bloques y plataformas digitales han facilitado el acceso a esta disciplina, permitiendo a los estudiantes desarrollar habilidades clave para el futuro. Sin embargo, el alto costo de los componentes electrónicos limita el acceso a muchos estudiantes. Es crucial invertir en la dotación de kits de robótica y laboratorios de computación en las instituciones educativas para garantizar un aprendizaje práctico y significativo.

Este tipo de robot presenta un amplio rango de aplicaciones, desde la manipulación de materiales radiactivos en zonas contaminadas hasta la gestión de residuos metálicos en entornos industriales. Su uso podría extenderse a entidades gubernamentales encargadas de la respuesta a emergencias nucleares, permitiendo reducir la exposición de los equipos de rescate a riesgos innecesarios. Para tareas de mayor envergadura, sería necesario implementar electroimanes más potentes capaces de manipular cargas pesadas. La incorporación de estos robots en los arsenales de los cuerpos de bomberos podría revolucionar las operaciones de rescate en situaciones de emergencia, garantizando la seguridad del personal y agilizando las labores de respuesta.

6. Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias a la colaboración de la Fundación para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología del Estado Trujillo (FUNDACITE - Trujillo) y la microempresa representada por el tecnólogo Rubén Darío Graterol, Municipio Pampanito Estado Trujillo, Venezuela.

7. Referencias

- Alcalde, S. (26 de Abril de 2024). *Accidente de Chernóbil: 5 datos sobre el desastre nuclear que marcó una época.* (National Geographic España) Retrieved 12 de Julio de 2024, from https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/5-datos-claves-desastre-chernobil_14343
- Arduino.cc. (27 de Julio de 2024). *DOCS. UNO R3:* <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3/>
- Bartolomé, A. V. (20 de Junio de 2018). *Diseño e implementación de un sistema de un sistema de control numérico.* Lejona, Vizcaya, España.
- Cárdenas, Á. (15 de Marzo de 2019). *Secmotiic. Tecnología para el desarrollo sostenible:* <https://secmotiic.com/tecnologia-para-el-desarrollo-sostenible/>
- EGADE. (2012). *Medición de impacto del Fondo Sectorial de Innovación.* CONACYT.
- Graterol, R. D. (17 de Mayo de 2023). *La máquina de Control Numérico Computarizado y su funcionamiento.* (Y. Godoy, Entrevistador)
- Khan Academy. (10 de Julio de 2024). *Unidad 10: Electromagnetismo:* <https://es.khanacademy.org/science/fisica-pe-pre-u/x4594717deeb98bd3:electromagnetismo>
- Morales, K., Hoyos, C., & García Caicedo, J. (2019). *Diseño y optimización de la estructura mecánica de un brazo robótico antropomórfico desarrollado con fines educativos.* *Revista UIS Ingenierías*, 193-208.
- Naciones Unidas. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para America Latina y el Caribe.* Santiago: CEPAL.