

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), marzo-abril 2026,
Volumen 10, Número 2.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v10i2

INTEGRACIÓN DE UN SISTEMA EMBEBIDO PARA DETECCIÓN DE OBSTÁCULOS EN ROBOTS TIPO SNAKE USANDO SENSORES ULTRASÓNICOS

INTEGRATION OF AN EMBEDDED SYSTEM FOR OBSTACLE DETECTION IN SNAKE ROBOTS USING ULTRASONIC SENSORS

Pedro Guevara López

Instituto Politécnico Nacional – México

Hayari Lizet Cruz González

Instituto Politécnico Nacional – México

María Elena Mendiola Medellín

Instituto Politécnico Nacional – México

Leobardo Hernández González

Instituto Politécnico Nacional – México

Fernando Arellano Calderón

Instituto Politécnico Nacional - México

Integración de un sistema embebido para detección de obstáculos en robots tipo Snake usando sensores ultrasónicos

Pedro Guevara López¹

pguevara@ipn.mx

<https://orcid.org/0000-0001-5373-1403>

Instituto Politécnico Nacional
México

Hayari Lizet Cruz González

hacruz@ipn.mx

<https://orcid.org/0000-0002-0442-1350>

Instituto Politécnico Nacional
México

María Elena Mendiola Medellín

mendiola.esime@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-2121-2128>

Instituto Politécnico Nacional
México

Leobardo Hernández González

lhernandezg@ipn.mx

<https://orcid.org/0000-0002-4555-8695>

Instituto Politécnico Nacional
México

Fernando Arellano Calderón

farellanoc@ipn.mx

<https://orcid.org/0000-0002-0442-1350>

Instituto Politécnico Nacional
México

RESUMEN

En este trabajo se presenta la integración de un sistema embebido orientado a la detección de obstáculos en un robot tipo Snake mediante el uso de sensores ultrasónicos, el propósito es mejorar su capacidad de navegación en entornos bidimensionales. El sistema se basa en la incorporación de sensores HC-SR04 acoplados a un microcontrolador encargado de adquirir, procesar y convertir la información de distancia en señales de control para la toma de decisiones en línea. La metodología adoptada corresponde a un enfoque cuantitativo de tipo aplicado, con un diseño experimental en condiciones de laboratorio que incluyó la calibración de sensores, el desarrollo de algoritmos en lenguaje C y la validación del sistema en diferentes condiciones de operación con obstáculos sólidos. Los resultados obtenidos presentan un desempeño adecuado para la detección de objetos y una buena respuesta en acciones de evasión.

Palabras clave: Detección de obstáculos; microcontroladores; robótica móvil; sensores ultrasónicos; sistemas embebidos

¹ Autor Principal

Correspondencia: pguevara@ipn.mx

Integration of an embedded system for obstacle detection in Snake robots using ultrasonic sensors

ABSTRACT

This paper presents the integration of an embedded system oriented to obstacle detection in a Snake robot using ultrasonic sensors, the purpose is to improve its navigation capability in two-dimensional environments. The system is based on the implementation of HC-SR04 sensors coupled to a microcontroller in charge of acquiring, processing and converting distance information into control signals for on line decision making. The methodology adopted corresponds to an applied quantitative approach, with an experimental design in laboratory conditions that included sensor calibration, development of algorithms in C language and validation of the system in different operating conditions with solid obstacles. The results obtained show an adequate performance for object detection and a good response in evasion actions.

Keywords: Embedded systems; microcontrollers; mobile robotics; obstacle detection; ultrasonic sensors

Artículo recibido 15 febrero 2026

Aceptado para publicación: 15 marzo 2026



INTRODUCCIÓN

En la robótica móvil, la navegación autónoma es un problema complejo, especialmente en plataformas como los robots tipo Snake, cuya estructura articulada les permite desplazarse en espacios reducidos y de difícil acceso. De acuerdo con Liljebäck et al. (2013), estos sistemas se basan en patrones de movimiento serpentinoide que favorecen su adaptación en terrenos de difícil acceso, mientras que Transeth et al. (2009) indican que su desempeño depende en gran medida de la integración entre percepción, control y locomoción. En este sentido, los sensores de proximidad son ampliamente utilizados debido a su simplicidad, bajo costo y capacidad para detectar distancias en forma rápida. En este contexto, Borenstein y Koren (1989) enfatizan que los sistemas de evasión de obstáculos basados en sensores de proximidad permiten a los robots reaccionar de forma rápida ante cambios en el entorno, siendo adecuados para la navegación reactiva. Por otra parte, en Everett (1995) se describe que los sensores ultrasónicos son adecuados para aplicaciones móviles debido a su facilidad de integración en sistemas embebidos. Entonces, se puede afirmar que dispositivos como el HC-SR04, en conjunto con microcontroladores, pueden detectar objetos sólidos y generar respuestas de evasión en corto tiempo, facilitando la navegación en dos dimensiones. Sin embargo, para su adecuado funcionamiento, se depende de factores como la calibración, la disposición de sensores y el procesamiento de la señal.

Por otro lado, la evolución de los sistemas embebidos ha permitido el desarrollo de soluciones más eficientes para aplicaciones robóticas. De acuerdo a Lee y Seshia (2017), los sistemas embebidos son la parte de los sistemas donde la interacción entre hardware y software debe garantizar tiempos de respuesta conocidos. Por ello, el uso de microcontroladores como el PIC16F887 facilita la ejecución de algoritmos de control en línea, permitiendo la interacción entre sensores ultrasónicos y actuadores para la evasión de obstáculos. En relación con los métodos de evasión, se han encontrado diversos enfoques que van desde técnicas reactivas hasta modelos probabilísticos y estrategias bioinspiradas. Thrun et al. (2005) destacan que la integración de percepción y decisión bajo incertidumbre es básica para mejorar la autonomía de los robots móviles; mientras que Siciliano y Khatib (2016) enfatizan la importancia de los sistemas de control y planificación en la interacción del robot con su entorno. De esta manera, antecedentes técnicos en robots tipo Snake muestran la aplicación de algoritmos apoyados en sensores ultrasónicos y plataformas de bajo costo, mostrando que su viabilidad en contextos educativos y



experimentales. A pesar de estos avances, se observa un vacío en la integración de sistemas embebidos orientados específicamente a robots tipo Snake en escenarios de navegación bidimensional. Esto se relaciona con la necesidad de equilibrar precisión en la detección, eficiencia en el procesamiento y simplicidad en la implementación, principalmente en aplicaciones donde se requiere bajo costo y adecuada capacidad de replicación. En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo integrar un sistema embebido para la detección de obstáculos en robots tipo Snake mediante sensores ultrasónicos, enfocándose en el desarrollo de un módulo funcional ubicado en la cabeza del robot que permita identificar obstáculos y ejecutar maniobras de evasión en un entorno bidimensional. Con ello, se busca contribuir al desarrollo de soluciones eficientes, accesibles y replicables, fortaleciendo la integración entre percepción, procesamiento y control en sistemas robóticos bioinspirados como los robots tipo snake.

METODOLOGÍA

El desarrollo de este trabajo tiene un enfoque aplicativo, orientado al diseño e integración de un sistema embebido para la detección y evasión de obstáculos en un robot tipo Snake, previamente fabricado. Se adoptó un diseño experimental de corte transversal, es un prototipo funcional, donde se analizó su desempeño en condiciones controladas de laboratorio, para un entorno bidimensional, es decir, en el plano x-y. La integración de componentes de hardware y software (sensores ultrasónicos, microcontrolador y actuadores) operan de manera coordinada para captar información del entorno, procesarla y generar respuestas en línea. Para la obtención de datos se emplea la observación estructurada del sistema en pruebas experimentales, considerando variables como la distancia de detección, el tiempo de respuesta y la efectividad en la evasión de obstáculos. Finalmente, se incluyen etapas de calibración de sensores, programación del microcontrolador en lenguaje C y ejecución de pruebas en diferentes condiciones de operación, lo que permite evaluar el funcionamiento del sistema y asegurar que los resultados cumplan los objetivos planteados.

Como antecedente al desarrollo de este trabajo, se observa que diversos estudios han demostrado que el uso de sensores ultrasónicos representa una solución eficiente debido a su bajo costo, facilidad de implementación y capacidad de medición en línea mediante el principio de tiempo de vuelo (time-of-flight) (Gibbs, 2017). En este sentido, los sensores ultrasónicos se utilizan en robots móviles para estimar



distancias y ajustar la trayectoria en función de los obstáculos, lo que permite implementar esquemas de navegación con tiempos de respuesta reducidos (Borenstein & Koren, 1988). Por otra parte, se han evidenciado que la integración de múltiples sensores mejora de manera significativa la precisión en la detección frente a variaciones en el entorno, como cambios en la superficie de los objetos o condiciones ambientales (Zhao, 2021). Este enfoque es adecuado en aplicaciones donde se requiere una percepción más confiable para la toma de decisiones. De manera complementaria, los sistemas de control reactivo basados en la comparación de distancias y selección de trayectorias libres han demostrado ser efectivos en plataformas de bajo costo, permitiendo una implementación sencilla sin comprometer su funcionalidad.

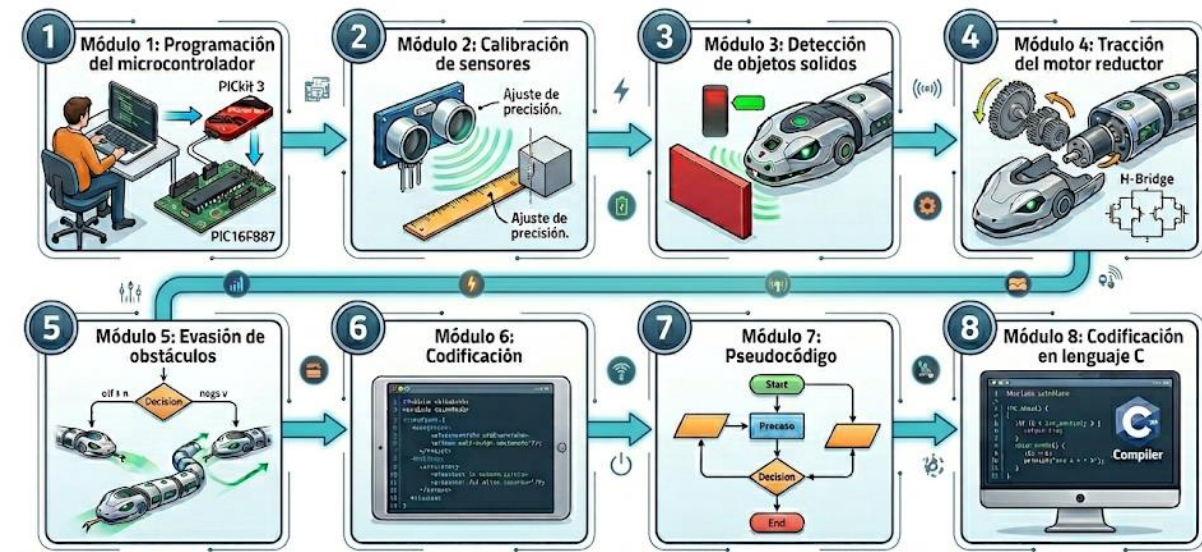
Por otra parte el uso de microcontroladores facilita el procesamiento de señales y la ejecución de algoritmos de control, permitiendo la correcta comunicación entre sensores y actuadores. Además, hay que considerar que existen limitaciones por parte de los sensores ultrasónicos, como su sensibilidad a la geometría de los objetos, la absorción de la señal en ciertos materiales y su resolución angular limitada, lo que puede afectar la precisión en entornos complejos (Gibbs, 2017; Meliones, 2022).

Todo esto fue considerado en el desarrollo de este proyecto, que está desglosado en 8 módulos o pasos metodológicos que interactúan entre si, estos se listan como sigue (ver Figura 1):

1. Programación del microcontrolador
2. Calibración de sensores
3. Detección de objetos sólidos
4. Tracción del motor reductor
5. Evasión de obstáculos
6. Codificación
7. Pseudocódigo
8. Codificación en lenguaje C



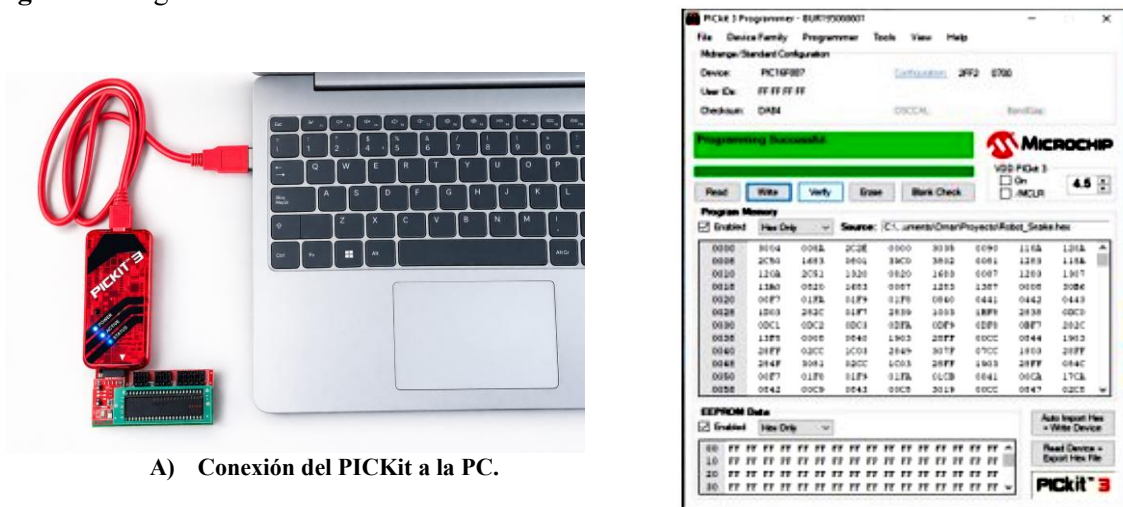
Figura 1. Módulos o pasos metodológicos para la integración de un sistema embebido para detección de obstáculos en robots tipo Snake usando sensores ultrasónicos



Módulo 1. Programación del microcontrolador

El módulo de programación del microcontrolador permite establecer la lógica de control encargada de coordinar la adquisición de datos, su procesamiento y la respuesta del sistema ante estímulos del entorno. En este proyecto, el microcontrolador PIC16F887 es programado en lenguaje C mediante un entorno de desarrollo especializado, generando un archivo ejecutable (.hex) que es posteriormente cargado al dispositivo utilizando una interfaz de programación. Esta etapa se realiza a través de un dispositivo PICKit 3 con CCS C Compiler, se realizó la configuración de registros internos, temporizadores y puertos de entrada/salida, así como la implementación de rutinas para la lectura de los sensores ultrasónicos y la activación de los actuadores.

Figura 1. Programación del microcontrolador PIC16F887



A) Conexión del PICKit a la PC.

B. Grabación del programa en el microcontrolador

Módulo 2. Calibración de sensores

El módulo de calibración de sensores tiene como propósito garantizar la precisión y confiabilidad en la medición de distancias realizada por los sensores ultrasónicos, mediante el ajuste de sus parámetros de operación en función de las condiciones del entorno. En esta etapa, se establecen referencias experimentales para corregir errores en las lecturas. Aquí se determina la relación entre el tiempo de retorno del pulso ultrasónico y la distancia real. Este proceso es fundamental, ya que una adecuada calibración mejora la exactitud de la detección de obstáculos y reduce errores en la movilidad del robot Snake. En la Figura 2 se muestra el pseudocódigo utilizado para la calibración.

Figura 2. Pseudocódigo utilizado para la calibración de los sensores ultrasónicos.

```
Función InicializarHCSR04
  ConfigurarTimer0(RTCC_INTERNAL | RTCC_DIV_8)
Fin Función

Función ObtenerDistanciaHCSR04
  Entero tiempoEco
  Real distancia
  Real tick

  tick = (4000.0 / fosc) * 8.0

  EstablecerEstadoSalida(P_TRIG, ALTO)
  EsperarMicrosegundos(10)
  EstablecerEstadoSalida(P_TRIG, BAJO)

  Mientras NoLeerEstadoEntrada(P_ECHO)
  Fin Mientras

  EstablecerTimer0(0)

  Mientras LeerEstadoEntrada(P_ECHO)
  Fin Mientras

  tiempoEco = ObtenerTimer0()

  distancia = (tiempoEco / 2.0) * tick * 34.0

  Devolver distancia
Fin Función
```

Módulo 3. Detección de objetos sólidos

En este módulo se identifica la presencia de obstáculos mediante el procesamiento de las señales de los sensores ultrasónicos. El sistema emite pulsos que al reflejarse en superficies sólidas generan un eco cuya duración es medida por el microcontrolador para estimar la distancia al objeto. A partir de esta información, se establece un criterio de detección basado en umbrales para distinguir entre espacios libres y zonas ocupadas. Este proceso implica no solo la adquisición de datos en línea, sino también su

interpretación que considera posibles variaciones en las condiciones del entorno. De esta manera, el módulo es un elemento necesario, ya que proporciona la información vital para la navegación y evasión de obstáculos del robot tipo Snake. En la Figura 3 se muestra el código para la detección y en la Figura 4 se muestra una prueba experimental para la detección de obstáculos con los sensores montados en un protoboard.

Figura 3. Pseudocódigo utilizado para la detección de objetos.

```
Algoritmo Principal
Real distancia, distancia1, distancia2, distancia3

HCSR04_init()
HCSR04_init1()

Mientras Verdadero

    distancia1 = HCSR04_get_distance1()
    distancia2 = HCSR04_get_distance2()
    distancia3 = HCSR04_get_distance3()

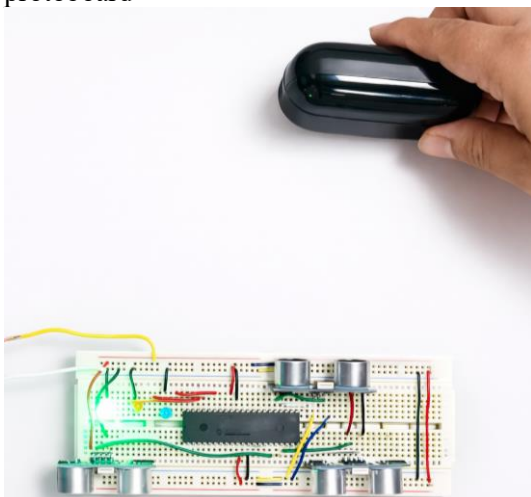
    Si distancia1 <= 10 Entonces
        EncenderLED(LED_1)
    Sino
        ApagarLED(LED_1)
    Fin Si

    Si distancia2 <= 15 Entonces
        EncenderLED(LED_2)
    Sino
        ApagarLED(LED_2)
    Fin Si

    Si distancia3 <= 20 Entonces
        EncenderLED(LED_3)
    Sino
        ApagarLED(LED_3)
    Fin Si

Fin Mientras
Fin Algoritmo
```

Figura 4. Prueba experimental para la detección de obstáculos con los sensores montados en un protoboard



Módulo 4. Tracción del motor reductor

El presente módulo transforma las decisiones del sistema de control en movimiento físico del robot, a través de la activación y regulación del motor encargado de generar el desplazamiento del robot Snake. En esta etapa, el microcontrolador envía señales eléctricas hacia un circuito de potencia formado por un puente H que controla el sentido y la activación del motor reductor, asegurando una respuesta acorde a los sensores. Este proceso implica la conmutación adecuada de las señales y la sincronización con el resto del sistema para lograr los movimientos adecuados. De esta manera, el módulo es el vínculo entre la lógica de decisión y la acción mecánica, haciendo que el robot tipo Snake modifique su trayectoria al interactuar con los obstáculos que se le presentan.

Figura 5. Pseudocódigo utilizado para la tracción del motor reductor

```
Función DetenerMotor
    EstablecerEstadoSalida (pin_C6, BAJO)
    EstablecerEstadoSalida (pin_D3, BAJO)
Fin Función

Función GirarDerecha
    EstablecerEstadoSalida (pin_C6, ALTO)
    EstablecerEstadoSalida (pin_D3, BAJO)
    EsperarMilisegundos (10)
Fin Función

Función GirarIzquierda
    EstablecerEstadoSalida (pin_C6, BAJO)
    EstablecerEstadoSalida (pin_D3, ALTO)
Fin Función
```

Módulo 5. Evasión de obstáculos

Este módulo transforma la información obtenida por el sistema de detección de obstáculos en acciones que permitan al robot modificar su trayectoria de manera autónoma, a partir de las mediciones de los sensores ultrasónicos; el sistema establece criterios basados en umbrales que determinan la proximidad de un obstáculo y dan una respuesta que consiste en la activación de los actuadores para controlar el sentido de giro del motor y orientar el movimiento del robot Snake hacia una dirección sin obstáculos. En la Figura 6 se presenta el pseudocódigo para que el motor gire hacia la izquierda, derecha o que se detenga.

Figura 6. Pseudocódigo utilizado para la evasión de obstáculos

```
Si distancia1 >= distancia2 y distancia1 >= distancia3 Entonces
    EncenderLED(LED_1)
    ApagarLED(LED_2)
    ApagarLED(LED_3)
    DetenerMotor()

Sino Si distancia2 >= distancia3 Entonces
    ApagarLED(LED_1)
    EncenderLED(LED_2)
    ApagarLED(LED_3)
    EsperarMilisegundos(10)
    GirarIzquierda()
    DetenerMotor()
    EsperarMilisegundos(10)

Sino
    ApagarLED(LED_1)
    ApagarLED(LED_2)
    EncenderLED(LED_3)
    EsperarMilisegundos(10)
    GirarDerecha()
```

Módulo 6. Codificación

Este módulo se enfoca en la traducción estructurada de los algoritmos y estrategias de control previamente definidos hacia un lenguaje de programación que pueda ser interpretado y ejecutado por el microcontrolador PIC16F887. En esta etapa, se implementan las rutinas necesarias para la interacción con los sensores, el procesamiento de señales y la activación de los actuadores. También se consideran la eficiencia en el uso de recursos, la gestión de tiempos y la comunicación entre los componentes del sistema. Para lograr esto, se llevó a cabo la programación del siguiente algoritmo de programación:

1. Configuración inicial: Se configura los pines de entrada/salida del PIC16F887 para conectar los sensores ultrasónicos.
2. Declaración de variables: Se declaran las variables que se ocuparan durante la codificación.
3. Inicialización de sensores: Dentro de la función principal (main) se inicializa los sensores ultrasónicos, se realiza la codificación para que los sensores estén activos.
4. Bucle principal: Dentro del bucle se realiza se obtienen los datos del sensor.
5. Medición de distancias: Mediante la biblioteca HCSR04-3 se obtiene la medición en centímetros entre los sensores y los obstáculos.
6. Control de movimiento: Dependiendo de la distancia entre el sensor y el obstáculo, se opta por dirigir la junta del robot tipo Snake hacia la dirección donde el obstáculo sea el más alejado.
7. Repetición del programa: Una vez que el Robot tipo Snake avanza, el programa se repite desde

el punto 4 en un ciclo infinito (hasta que la fuente de alimentación se interrumpa o agote).

Módulo 7. Pseudocódigo

El módulo de pseudocódigo representa de manera estructurada la lógica de funcionamiento del sistema antes de su implementación en un lenguaje de programación específico, en este caso Lenguaje C. En esta etapa, se describen las secuencias de operación, condiciones de decisión y flujos de control que hacen la interacción entre sensores, procesamiento y actuadores, utilizando una notación intermedia que combina elementos del lenguaje natural con estructuras propias de la programación. En otras palabras, el pseudocódigo es un puente conceptual entre el diseño del algoritmo y su codificación, con el fin de dar mayor claridad en la documentación del sistema del robot tipo Snake. La Figura 7 presenta el pseudocódigo de todo el sistema de detección y evasión de obstáculos en el robot Snake.



Figura 7. Pseudocódigo del sistema embebido para detección de obstáculos en el robot tipo Snake

```
Algoritmo Principal

HCSR04_init()
HCSR04_init1()

Mientras Verdadero

    distancia1 = 0
    distancia2 = 0
    distancia3 = 0

    DetenerMotor()

    distancia1 = HCSR04_get_distancel()
    distancia2 = HCSR04_get_distance2()
    distancia3 = HCSR04_get_distance3()

    Si distancia1 <= 10 o distancia2 <= 10 o distancia3 <= 10 Entonces

        Si distancia1 >= distancia2 y distancia1 >= distancia3 Entonces
            EncenderLED(LED_1)
            ApagarLED(LED_2)
            ApagarLED(LED_3)
            DetenerMotor()

        Sino Si distancia2 >= distancia3 Entonces
            ApagarLED(LED_1)
            EncenderLED(LED_2)
            ApagarLED(LED_3)
            EsperarMilisegundos(10)
            GirarIzquierda()
            DetenerMotor()
            EsperarMilisegundos(10)

        Sino
            ApagarLED(LED_1)
            ApagarLED(LED_2)
            EncenderLED(LED_3)
            EsperarMilisegundos(10)
            GirarDerecha()
            DetenerMotor()
            EsperarMilisegundos(10)

    Fin Si

    EsperarMilisegundos(150)

Sino
    ApagarLED(LED_1)
    ApagarLED(LED_2)
    ApagarLED(LED_3)
Fin Si

Fin Mientras

Fin Algoritmo
```

Módulo 8. Codificación en lenguaje C

El módulo de codificación en lenguaje C tiene como propósito implementar la lógica del sistema dentro del microcontrolador PIC16F887, utilizando un lenguaje de bajo nivel que permita un control preciso del hardware y una gestión eficiente de los recursos disponibles. Aquí, se traducen las estructuras

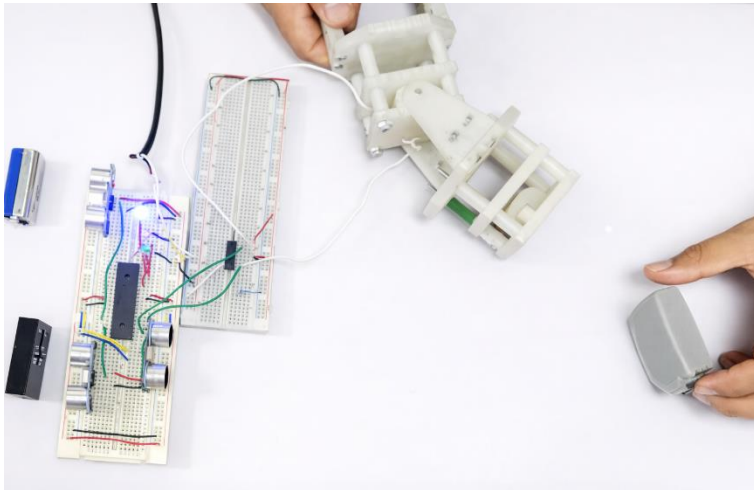


definidas en el pseudocódigo a instrucciones en C compatibles con el microcontrolador, integrando funciones para la lectura de sensores, el manejo de temporizadores, la configuración de puertos de entrada/salida y el control de actuadores. También se optimiza el código para minimizar los tiempos de respuesta. Esta es la última parte de la metodología de desarrollo, permitiendo que el robot tipo Snake ejecute de forma autónoma las tareas de detección y evasión de obstáculos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos muestran que el sistema desarrollado es capaz de detectar y evadir obstáculos de manera consistente en un entorno bidimensional controlado, utilizando sensores ultrasónicos como principal mecanismo de percepción. Durante las pruebas experimentales, el robot tipo Snake logró identificar la proximidad de objetos sólidos a distintas distancias y ejecutar respuestas mediante la activación de los actuadores (Ver Figura 8).

Figura 8. Pruebas para detección y evasión de obstáculos. Se ven los sensores ultrasónicos y la cabeza del robot Snake



Se observó que la calibración adecuada de los sensores permitió reducir variaciones en las mediciones, mejorando la precisión en la estimación de distancias y la calidad en la toma de decisiones. Finalmente, se confirmó la viabilidad del sistema propuesto como una solución accesible y eficiente para la navegación autónoma básica. En la Tabla 1 se muestran los resultados de las pruebas experimentales realizadas, bajo condiciones controladas de laboratorio.

Tabla 1. Resultados de las pruebas experimentales realizadas, bajo condiciones controladas de laboratorio

Prueba	Condición del entorno	Distancia detectada (cm)	Acción del sistema	Resultado
Prueba 1	Objeto frontal cercano	≤ 10	Detener	Evitó colisión
Prueba 2	Objeto lateral izquierdo	≤ 15	Girar derecha	Evasión correcta
Prueba 3	Objeto lateral derecho	≤ 20	Girar izquierda	Evasión correcta
Prueba 4	Espacio libre	> 20	Avanzar	Trayectoria libre
Prueba 5	Múltiples obstáculos	Variable	Selección de mayor distancia	Evasión parcial

DISCUSIÓN

Con el sistema de detección y evasión de obstáculos se confirma que la integración de sensores ultrasónicos es suficiente para lograr una navegación autónoma básica en entornos controlados; sin embargo, también se detectaron algunas limitaciones, sobretodo en la sensibilidad de las mediciones ante condiciones físicas de los obstáculos, como su forma geométrica o el tipo de su superficie reflectante, además, se tiene presente que el sistema desarrollado no puede predecir o planificar trayectorias. A pesar de ello, el sistema desarrollado es capaz de mejorarse al utilizar diversas técnicas, como algoritmos adaptativos o modelos que permitan mejorar la toma de decisiones.

CONCLUSIONES

En este trabajo se comprobó que el desarrollo e integración de un sistema embebido para la detección y evasión de obstáculos en un robot tipo Snake permitió validar la navegación autónoma en superficies de dos dimensiones utilizando sensores ultrasónicos y microcontroladores de bajo costo. También, se comprobó que la correcta interacción entre los módulos de programación, calibración, detección, control y toma de decisiones ofrece un comportamiento adecuado para un robot Snake, logrando identificar obstáculos y logrando su evasión de forma adecuada. Respecto al uso de sensores ultrasónicos, a través de la medición de umbrales demostró ser suficiente para la operación del sistema sin requerir algoritmos complejos y muy elaborados. Finalmente, este trabajo puede servir de base para el desarrollo de sistemas más avanzados, enfocados en escenarios de exploración, inspección y rescate en espacios de difícil acceso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Borenstein, J., & Koren, Y. (1989). Real-time obstacle avoidance for fast mobile robots. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 19(5), 1179–1187.
- Everett, H. R. (1995). *Sensors for mobile robots: Theory and application*. A K Peters.
- Gibbs, G. (2017). Obstacle detection with ultrasonic sensors and signal processing. *Procedia Computer Science*, 130, 974–981.
- Lee, E. A., & Seshia, S. A. (2017). *Introduction to embedded systems: A cyber-physical systems approach* (2nd ed.). MIT Press.
- Liljebäck, P., Pettersen, K. Y., Stavdahl, Ø., & Gravdahl, J. T. (2013). *Snake robots: Modelling, mechatronics, and control*. Springer.
- Meliones, A. (2022). Reliable ultrasonic obstacle recognition systems. *Technologies*, 10(3), 54.
- Siciliano, B., & Khatib, O. (2016). *Springer handbook of robotics*. Springer.
- Thrun, S., Burgard, W., & Fox, D. (2005). *Probabilistic robotics*. MIT Press.
- Transth, A. A., Pettersen, K. Y., & Liljebäck, P. (2009). A survey on snake robot modeling and locomotion. *Robotica*, 27(7), 999–1015.
- Zhang, H., Wang, Y., & Liu, J. (2022). Decentralized obstacle avoidance control for multi-robot systems in dynamic environments. *Robotics and Autonomous Systems*, 151, 104021.
- Zhao, J. (2021). Multi-sensor obstacle avoidance for autonomous robots. *Sensors*, 21(20), 6777.
- ama de su agrado como Zotero, Mendeley u otro.

