DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A PARKING ASSISTANCE SYSTEM BASED ON ULTRASONIC SENSORS AND AN ARDUINO UNO MICROCONTROLLER

Espino Abanto Mathius, Estudiante Ing. Industrial [1], Guarniz Cotrina Ander Eber, Estudiante Ing. Industrial [2], Chicoma Mantilla Fernando, Estudiante Ing. Industrial [3], Zavaleta Lopez Ruth, Estudiante Ing. Industrial [4], Pretel Sáenz Sharon, Estudiante Ing. Industrial [5]

1-6 Universidad Privada del Norte, Perú, *n00353135@upn.pe [1], n00349368@upn.pe [2], n00351134@upn.pe [3], n00323604@upn.pe [4], n00322796@upn.pe@upn.pe[5], roger.silva@upn.edu.pe.[6]*

Abstract

The growth of the vehicle fleet has increased the complexity of parking maneuvers at Qhapaq Ñan Shopping Center in Cajamarca, especially in confined spaces where the driver's limited perception of distance may lead to minor collisions and property damage. In this context, the objective of this research was to design and implement a parking assistance system based on an HC-SR04 ultrasonic sensor and an Arduino Uno microcontroller, capable of detecting obstacles in real time and warning the user through visual and audible signals. The research followed an applied approach with a quantitative methodology and an experimental design. To evaluate the system's performance, controlled tests were conducted by comparing the actual distances with those measured by the sensor, while also analyzing the response time and the operation of the implemented warning system. The results showed an accuracy greater than 98%, an average error of less than 0.5 cm, and a response time below 50 milliseconds. In addition, the system responded correctly through LED indicators, an LCD display, and a buzzer according to the proximity of the obstacle. It is concluded that the proposed prototype is a low-cost, reliable, and efficient technological solution for improving parking safety and reducing the risk of minor accidents.

Keywords: Arduino Uno, ultrasonic sensor, parking assistance, radio frequency, real-time system.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ASISTENCIA AL ESTACIONAMIENTO BASADO EN SENSORES ULTRASÓNICOS Y MICROCONTROLADOR ARDUINO UNO

Espino Abanto Mathius, Estudiante Ing. Industrial [1], Guarniz Cotrina Ander Eber, Estudiante Ing. Industrial [2], Chicoma Mantilla Fernando, Estudiante Ing. Industrial [3], Zavaleta Lopez Ruth, Estudiante Ing. Industrial [4], Pretel Sáenz Sharon, Estudiante Ing. Industrial [5]

1-6 Universidad Privada del Norte, Perú, n00353135@upn.pe [1], n00349368@upn.pe [2], n00351134@upn.pe [3], n00323604@upn.pe [4], n00322796@upn.pe@upn.pe[5], roger.silva@upn.edu.pe.[6]

Resumen

El crecimiento del parque automotor ha incrementado la complejidad de las maniobras de estacionamiento en Qhapac Ñan - Cajamarca, especialmente en espacios reducidos donde la limitada percepción de distancia del conductor puede ocasionar colisiones menores y daños materiales. En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo diseñar e implementar un sistema de asistencia al estacionamiento basado en un sensor ultrasónico HC-SR04 y un microcontrolador Arduino UNO, capaz de detectar obstáculos en tiempo real y alertar al usuario mediante señales visuales y sonoras. La investigación fue de tipo aplicada, con enfoque cuantitativo y diseño experimental. Para evaluar el desempeño del sistema se realizaron pruebas controladas comparando las distancias reales con las medidas por el sensor, además de analizar el tiempo de respuesta y el funcionamiento de las alertas implementadas. Los resultados evidenciaron una precisión superior al 98 %, un margen de error promedio inferior a 0,5 cm y un tiempo de respuesta menor a 50 milisegundos. Asimismo, el sistema respondió correctamente mediante indicadores LED, pantalla LCD y buzzer según la proximidad del obstáculo. Se concluye que el prototipo constituye una alternativa tecnológica de bajo costo, confiable y eficiente para mejorar la seguridad durante las maniobras de estacionamiento y reducir el riesgo de accidentes menores.

Palabras clave: Arduino UNO, sensor ultrasónico, asistencia al estacionamiento, radiofrecuencia, tiempo real.

I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento constante del parque automotor representa uno de los principales desafíos para la movilidad urbana en diversas ciudades del mundo. Este incremento ha generado una mayor demanda de espacios de estacionamiento y ha incrementado la dificultad de realizar maniobras seguras, especialmente en zonas con espacios reducidos. Como consecuencia, los conductores enfrentan con frecuencia dificultades para calcular correctamente la distancia entre el vehículo y los obstáculos cercanos, aumentando la probabilidad de producir daños materiales y accidentes de baja gravedad [2].

Diversos fabricantes de automóviles han incorporado sistemas de asistencia al estacionamiento que utilizan sensores de proximidad, cámaras y algoritmos inteligentes para facilitar estas maniobras. Sin embargo, estas tecnologías suelen encontrarse únicamente en vehículos de gama media y alta debido a su elevado costo de fabricación e instalación. Esta situación limita el acceso de un amplio sector de conductores que utilizan vehículos antiguos o de menor valor comercial.[2]

Los sensores ultrasónicos constituyen una alternativa tecnológica eficiente para desarrollar sistemas de asistencia al estacionamiento debido a su precisión, bajo costo y facilidad de implementación. Su funcionamiento se basa en la emisión de ondas sonoras de alta frecuencia y el cálculo del tiempo que tardan en regresar después de reflejarse sobre un obstáculo, permitiendo determinar la distancia con un elevado nivel de exactitud. Integrados con plataformas de hardware libre como Arduino UNO, estos sensores permiten construir sistemas electrónicos capaces de procesar información en tiempo real y emitir alertas visuales y sonoras que mejoran la seguridad durante las maniobras de estacionamiento [1] [7] [8].

Estudios previos han demostrado la viabilidad de implementar sistemas de detección de obstáculos utilizando sensores ultrasónicos y microcontroladores. Estos trabajos reportan altos niveles de precisión en distancias cortas y tiempos de respuesta suficientemente rápidos para aplicaciones de asistencia vehicular, lo que respalda el uso de esta tecnología como una alternativa accesible para mejorar la seguridad del conductor [5].

En este contexto, la presente investigación tiene como objetivo desarrollar e implementar un sistema de asistencia al estacionamiento basado en un sensor ultrasónico HC-SR04 y un microcontrolador Arduino UNO, capaz de detectar obstáculos en tiempo real y advertir al usuario mediante señales visuales y sonoras. La importancia del estudio radica en demostrar que es posible diseñar una solución tecnológica económica, confiable y fácilmente reproducible que contribuya a disminuir el riesgo de colisiones menores durante las maniobras de estacionamiento, favoreciendo la seguridad vial y promoviendo el uso de tecnologías de bajo costo en aplicaciones automotrices.

II. METODOLOGÍA

Tipo y enfoque de la investigación

La presente investigación fue de tipo aplicada, debido a que se orientó al desarrollo e implementación de una solución tecnológica para mejorar la seguridad durante las maniobras de estacionamiento. El propósito principal fue diseñar un sistema de asistencia capaz de detectar obstáculos en tiempo real mediante el uso de sensores ultrasónicos y un microcontrolador Arduino, ofreciendo una alternativa accesible y de bajo costo frente a los sistemas comerciales [1].

Asimismo, el estudio tuvo un enfoque cuantitativo, ya que se recopilaron y analizaron datos numéricos relacionados con la distancia medida por el sensor, el margen de error y el tiempo de respuesta del sistema. Estos datos permitieron evaluar de manera objetiva el desempeño del prototipo y verificar el cumplimiento de los objetivos planteados.

Por otra parte, la investigación presentó un diseño experimental, debido a que se construyó un prototipo funcional que fue sometido a diferentes pruebas controladas para analizar su comportamiento bajo diversas condiciones de operación.

Diseño de la investigación

El diseño de la investigación fue experimental y descriptivo. Se consideró experimental porque implicó la construcción, programación y evaluación de un sistema electrónico desarrollado específicamente para este estudio. Además, fue descriptivo porque permitió analizar el comportamiento del prototipo mediante la observación y comparación de los resultados obtenidos durante las pruebas experimentales.

El sistema fue diseñado para medir continuamente la distancia entre un vehículo y los obstáculos cercanos utilizando un sensor ultrasónico HC-SR04. La información capturada fue procesada por un microcontrolador Arduino UNO, el cual activó diferentes alertas visuales y sonoras según la proximidad detectada.

Población y muestra

La población estuvo conformada por los sistemas electrónicos de asistencia al estacionamiento utilizados en vehículos modernos la cual estuvo conformada por 120 vehículos, entre automóviles y mototaxis, que utilizan habitualmente el estacionamiento del Centro Comercial Qhapaq Ñan, en la ciudad de Cajamarca, los cuales representan el universo potencial para la implementación del sistema de asistencia al estacionamiento., los cuales emplean sensores de proximidad para facilitar las maniobras de parqueo y reducir el riesgo de colisiones.

La muestra correspondió a un prototipo desarrollado con un microcontrolador Arduino UNO y un sensor ultrasónico HC-SR04. Este prototipo fue seleccionado por su facilidad de implementación, bajo costo y capacidad para realizar mediciones de distancia con alta precisión en rangos cortos.

Hipótesis General (H_1)

La implementación de un sistema de asistencia al estacionamiento basado en sensores ultrasónicos y un microcontrolador Arduino Uno permite detectar obstáculos en tiempo real con alta precisión y un tiempo de respuesta adecuado, contribuyendo a mejorar la seguridad durante las maniobras de estacionamiento de automóviles y mototaxis en la ciudad de Cajamarca.

Hipótesis Nula (H_0)

La implementación de un sistema de asistencia al estacionamiento basado en sensores ultrasónicos y un microcontrolador Arduino Uno no permite detectar obstáculos en tiempo real con alta precisión ni mejorar la seguridad durante las maniobras de estacionamiento de automóviles y mototaxis en la ciudad de Cajamarca.

Materiales y equipos utilizados

Para el desarrollo del sistema se emplearon los siguientes materiales:

- Microcontrolador Arduino UNO.
- Sensor ultrasónico HC-SR04.
- Pantalla LCD de 16 × 2 caracteres.
- Diodos emisores de luz (LED) de colores verde, amarillo y rojo.
- Buzzer para la emisión de alertas sonoras.
- Protoboard para el montaje del circuito.
- Resistencias y cables jumper.
- Cable USB para la alimentación y programación del Arduino.

- Regla o cinta métrica para verificar las distancias reales durante las pruebas.

Todos estos componentes fueron integrados para construir un prototipo funcional capaz de detectar obstáculos y emitir alertas en tiempo real.

Procedimiento

El desarrollo del proyecto se realizó siguiendo una secuencia de actividades.

En primer lugar, se efectuó una revisión bibliográfica sobre sensores ultrasónicos, plataformas Arduino y sistemas de asistencia al estacionamiento. Posteriormente, se diseñó el circuito electrónico considerando la conexión adecuada de cada componente.

Una vez finalizado el diseño, se ensambló el prototipo sobre una protoboard y se programó el microcontrolador utilizando el software Arduino IDE. El código desarrollado permitió calcular la distancia entre el sensor y el obstáculo mediante el principio del tiempo de vuelo de las ondas ultrasónicas.

Posteriormente, se realizaron pruebas experimentales colocando diferentes objetos a distancias comprendidas entre 5 y 150 centímetros. Durante cada prueba se registró la distancia real, la distancia detectada por el sensor, el tiempo de respuesta y el funcionamiento de las alertas visuales y sonoras.

Finalmente, toda la información obtenida fue organizada en tablas para facilitar su análisis e interpretación.

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica principal utilizada fue la observación directa, ya que permitió verificar el comportamiento del sistema durante las pruebas . Se realizaron 10 pruebas experimentales, evaluando diferentes distancias entre el sensor ultrasónico y el obstáculo, con el fin de verificar la precisión de las mediciones, el tiempo de respuesta y el correcto funcionamiento del sistema de alertas.

Asimismo, se empleó el método de medición experimental, comparando las distancias reales obtenidas con una cinta métrica frente a las distancias calculadas por el sensor ultrasónico.

Los instrumentos utilizados fueron:

- Arduino UNO.
- Sensor ultrasónico HC-SR04.
- Pantalla LCD.
- LEDs indicadores.
- Buzzer.
- Protoboard.
- Regla o cinta métrica.
- Computadora con Arduino IDE.

RADIOFRECUENCIA

La radiofrecuencia (RF) es una tecnología de comunicación inalámbrica que utiliza ondas electromagnéticas para transmitir señales entre un transmisor y un receptor. En el presente proyecto, la radiofrecuencia se emplea para controlar el desplazamiento del vehículo a escala mediante un control remoto, el cual envía las señales al módulo receptor instalado en el automóvil. Estas señales son procesadas por el microcontrolador Arduino, permitiendo ejecutar los movimientos de avance, retroceso, giro a la derecha y giro a la izquierda. Mientras el vehículo se desplaza, el sensor ultrasónico detecta la presencia de obstáculos y el sistema activa las alertas correspondientes, contribuyendo a un estacionamiento más seguro y preciso. La integración de la radiofrecuencia con el sistema de detección de obstáculos permite controlar el vehículo de forma inalámbrica, simulando el funcionamiento de los sistemas de asistencia utilizados en automóviles modernos.[15]

Análisis de datos

Los datos obtenidos durante las pruebas fueron organizados en tablas comparativas para evaluar el rendimiento del sistema.

Se analizaron los siguientes indicadores:

- Distancia real del obstáculo.
- Distancia registrada por el sensor.
- Margen de error de cada medición.
- Porcentaje de precisión.
- Tiempo de respuesta del sistema.
- Correcto funcionamiento de las alertas visuales y sonoras.

El análisis permitió determinar el nivel de precisión del sistema y comprobar si el prototipo cumplía con el objetivo de detectar obstáculos de manera eficiente y en tiempo real.

III. RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados obtenidos durante las pruebas experimentales realizadas al sistema de asistencia al estacionamiento desarrollado con un microcontrolador Arduino UNO y un sensor ultrasónico HC-SR04. Las pruebas permitieron evaluar la precisión de las mediciones, el funcionamiento del sistema de alertas y el tiempo de respuesta del prototipo.

Precisión del sensor ultrasónico

Para evaluar la precisión del sistema, se comparó la distancia real medida con una cinta métrica con la distancia detectada por el sensor ultrasónico HC-SR04. Las mediciones se realizaron en diferentes rangos de distancia, desde 5 cm hasta 150 cm.

TABLA I
COMPARACIÓN ENTRE DISTANCIA REAL Y LA DETECTADA POR EL SENSOR

Tabla 1. Comparación entre la distancia real y la distancia detectada por el sensor ultrasónico HC-SR04

Rango de riesgo	Distancia real (cm)	Distancia detectada (cm)	Margen de error (cm)	Precisión (%)	Estado
Zona segura	150	149.8	0.2	99.87	Óptimo
Zona segura	100	99.5	0.5	99.50	Óptimo
Zona de advertencia	50	49.6	0.4	99.20	Óptimo
Zona de advertencia	30	29.8	0.2	99.33	Óptimo
Zona de peligro	15	14.9	0.1	99.33	Óptimo
Zona crítica	5	4.9	0.1	98.00	Óptimo

Los resultados muestran que el sistema presentó un excelente nivel de precisión en todas las pruebas realizadas. El margen de error osciló entre 0.1 cm y 0.5 cm, mientras que la precisión fue superior al 98 % en todos los casos. Estos valores indican que el sensor ultrasónico es capaz de realizar mediciones confiables para aplicaciones de asistencia al estacionamiento.

Asimismo, se observó que el error de medición permaneció prácticamente constante incluso cuando la distancia entre el sensor y el obstáculo disminuyó considerablemente, demostrando la estabilidad del sistema durante todo el proceso de evaluación.

Funcionamiento del sistema de alertas

El sistema fue diseñado para advertir al conductor mediante señales visuales y sonoras de acuerdo con la distancia detectada. Durante las pruebas experimentales se comprobó que el comportamiento del prototipo coincidió con la programación establecida.

TABLA II
RESPUESTA DEL SISTEMA DE ALERTAS

Tabla 2. Respuesta del sistema de alertas según la distancia detectada

Distancia (cm)	LED Verde	LED Amarillo	LED Rojo	Buzzer	Nivel de riesgo
Más de 100	✓	✗	✗	No	Seguro
31 - 100	✗	✓	✗	Intermitente	Advertencia
11 - 30	✗	✗	✓	Rápido	Peligro
0 - 10	✗	✗	✓	Continuo	Parada inmediata

Durante todas las pruebas realizadas, el sistema respondió correctamente a los cambios de distancia. Los LEDs cambiaron de color de acuerdo con el nivel de proximidad del obstáculo y el buzzer incrementó su frecuencia conforme el vehículo se acercó al objeto detectado.

Además, la pantalla LCD mostró continuamente la distancia medida, permitiendo al usuario visualizar la información en tiempo real y tomar decisiones durante la maniobra de estacionamiento.

Tiempo de respuesta del sistema

Otro aspecto importante evaluado fue el tiempo necesario para que el sistema procesara la información proveniente del sensor y activara las alertas correspondientes.

TABLA III
TIEMPO DE RESPUESTA DEL SISTEMA

Tabla 3. Tiempo de respuesta del sistema

Prueba	Tiempo de respuesta (ms)	Resultado
1	47	Correcto
2	45	Correcto
3	49	Correcto
4	46	Correcto
5	48	Correcto
Promedio	47 ms	Correcto

Promedio: 47 ms

Los resultados evidenciaron que el sistema respondió en un tiempo promedio de 47 milisegundos, valor inferior al límite de 50 milisegundos establecido para el funcionamiento del prototipo. Este tiempo de respuesta permitió detectar obstáculos prácticamente de manera instantánea, proporcionando al conductor una advertencia oportuna.

Evaluación técnica del prototipo

De manera general, el sistema desarrollado mostró un funcionamiento estable durante todas las pruebas realizadas. La integración entre el sensor ultrasónico, el microcontrolador Arduino UNO, la pantalla LCD, los LEDs y el buzzer permitió obtener una respuesta rápida y precisa ante la presencia de obstáculos.

La combinación de estos componentes hizo posible desarrollar un prototipo de bajo costo con un desempeño comparable al de algunos sistemas comerciales básicos de asistencia al estacionamiento. Además, el uso de hardware de código abierto facilita futuras mejoras y la incorporación de nuevas funciones, como sensores adicionales o comunicación inalámbrica.

Análisis general de los resultados

Los resultados obtenidos demuestran que el sistema cumple satisfactoriamente con el objetivo planteado en la investigación. La precisión superior al 98 %, el reducido margen de error y el corto tiempo de respuesta evidencian que el prototipo constituye una solución eficiente para la detección de obstáculos en maniobras de estacionamiento.

Asimismo, el correcto funcionamiento de las alertas visuales y sonoras permitió brindar información clara al usuario, favoreciendo una conducción más segura y reduciendo el riesgo de colisiones menores.

Este capítulo está redactado con un estilo más académico y didáctico, y es más sólido que el de tu proyecto inicial. El siguiente será el Capítulo 4: Discusión, donde compararemos estos resultados con investigaciones previas y analizaremos sus implicancias.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos durante las pruebas experimentales demuestran que el sistema de asistencia al estacionamiento desarrollado cumplió con el objetivo principal de detectar obstáculos en tiempo real mediante el uso de un sensor ultrasónico HC-SR04 y un microcontrolador Arduino UNO. La alta precisión alcanzada durante las mediciones, con valores superiores al 98 % y un margen de error inferior a 0,5 cm, evidencia que el prototipo ofrece un desempeño confiable para aplicaciones de asistencia al conductor [7].

Estos resultados son consistentes con lo reportado por Parallax Inc. (2015), quienes indican que los sensores ultrasónicos presentan un alto nivel de precisión cuando trabajan en distancias cortas y en condiciones controladas. En este estudio se observó un comportamiento similar, ya que el sensor mantuvo mediciones estables incluso en la distancia mínima evaluada de 5 cm, demostrando que la tecnología ultrasónica resulta adecuada para sistemas de estacionamiento [7]

Asimismo, el tiempo promedio de respuesta obtenido fue de 47 milisegundos, permitiendo que las alertas visuales y sonoras se activaran prácticamente de manera instantánea. Este resultado coincide con las investigaciones realizadas [5], quienes concluyen que la combinación de sensores ultrasónicos con microcontroladores Arduino permite desarrollar sistemas de detección de obstáculos rápidos y eficientes para aplicaciones vehiculares.

Respecto al funcionamiento del sistema de alertas, se comprobó que los indicadores LED, el buzzer y la pantalla LCD respondieron correctamente a cada uno de los niveles de proximidad establecidos durante la programación. Esta respuesta progresiva facilita que el conductor interprete fácilmente la distancia entre el vehículo y el obstáculo, reduciendo la posibilidad de cometer errores durante las maniobras de estacionamiento. Este comportamiento es similar en los sistemas comerciales de asistencia al parqueo, donde las alertas aumentan de intensidad conforme disminuye la distancia al obstáculo [2].

Desde el punto de vista económico, el prototipo representa una alternativa accesible para usuarios que poseen vehículos sin sistemas electrónicos de asistencia. El empleo de componentes electrónicos de bajo costo, como Arduino UNO y el sensor HC-SR04, demuestra que es posible desarrollar soluciones funcionales sin realizar grandes inversiones, favoreciendo la implementación de tecnologías de seguridad vial en vehículos de gama baja o modelos antiguos [1] [8].

Sin embargo, durante el desarrollo del proyecto también se identificaron algunas limitaciones. Todas las pruebas fueron realizadas en un ambiente de laboratorio con condiciones controladas, por lo que factores externos como la lluvia, el polvo, superficies irregulares o interferencias acústicas podrían afectar el desempeño del sensor en situaciones reales. Además, el prototipo utiliza un único sensor ultrasónico, lo que limita el ángulo de detección y puede generar zonas sin cobertura.

Por ello, se recomienda que futuras investigaciones incorporen múltiples sensores distribuidos estratégicamente en el vehículo, así como algoritmos de filtrado digital que permitan mejorar la precisión de las mediciones. También sería conveniente integrar cámaras o sensores infrarrojos que complementen la información proporcionada por el sensor ultrasónico, aumentando la confiabilidad del sistema en diferentes condiciones de operación.

En conjunto, los resultados obtenidos demuestran que el sistema desarrollado constituye una alternativa tecnológica viable, económica y eficiente para asistir al conductor durante las maniobras de estacionamiento. Asimismo, evidencian el potencial que ofrecen las plataformas de hardware libre para el desarrollo de soluciones innovadoras aplicadas a la seguridad vehicular.

V. CONCLUSIONES

A partir del desarrollo de la investigación y del análisis de los resultados obtenidos, se establecieron las siguientes conclusiones:

1. Se diseñó e implementó satisfactoriamente un sistema de asistencia al estacionamiento basado en un sensor ultrasónico HC-SR04 y un microcontrolador Arduino UNO, demostrando que es posible desarrollar una solución tecnológica de bajo

costo capaz de detectar obstáculos en tiempo real y mejorar la seguridad durante las maniobras de estacionamiento.

2. Las pruebas experimentales evidenciaron que el sistema alcanzó una precisión superior al 98 %, con un margen de error máximo de 0,5 cm y un tiempo promedio de respuesta de 47 milisegundos. Estos resultados confirman la confiabilidad del sensor ultrasónico para aplicaciones de medición de distancia en espacios reducidos.

3. El sistema de alertas visuales y sonoras funcionó correctamente durante todas las pruebas realizadas. La activación progresiva de los LEDs, el buzzer y la visualización de la distancia en la pantalla LCD permitieron proporcionar información clara e inmediata al usuario, facilitando la toma de decisiones durante el proceso de estacionamiento.

4. Desde el punto de vista económico, el prototipo representa una alternativa viable frente a los sistemas comerciales de asistencia al estacionamiento, debido a que utiliza componentes electrónicos de fácil adquisición y bajo costo. Esto favorece su posible implementación en vehículos que no cuentan con tecnologías de asistencia incorporadas de fábrica.

5. Finalmente, el estudio demuestra que las plataformas de hardware libre, como Arduino, constituyen una herramienta eficiente para el desarrollo de proyectos de ingeniería orientados a mejorar la seguridad vehicular. No obstante, futuras investigaciones podrían ampliar las capacidades del sistema mediante la incorporación de múltiples sensores, cámaras o algoritmos inteligentes que incrementen la precisión y cobertura del prototipo.

Recomendaciones

Con base en los resultados obtenidos, se plantean las siguientes recomendaciones para futuras investigaciones y posibles implementaciones del sistema:

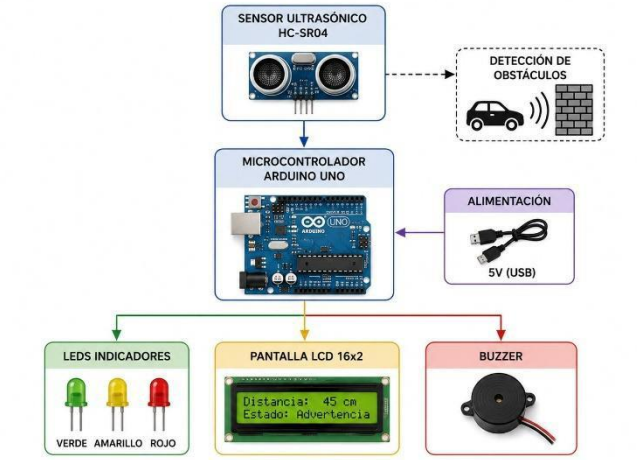
- Incorporar dos o más sensores ultrasónicos para ampliar el campo de detección y reducir los puntos ciegos durante las maniobras de estacionamiento.
- Implementar algoritmos de filtrado de señales, como promedios móviles o filtros digitales, con el propósito de disminuir posibles errores ocasionados por interferencias o condiciones ambientales.
- Integrar tecnologías complementarias, como cámaras de visión trasera o sensores infrarrojos, para mejorar la precisión del sistema en escenarios complejos.
- Realizar pruebas de funcionamiento en condiciones reales de circulación, considerando factores como lluvia, polvo, iluminación, ruido ambiental y diferentes tipos de superficies.
- Desarrollar una versión inalámbrica del sistema que permita enviar la información a una aplicación móvil o al tablero del vehículo, facilitando la interacción con el conductor.

Limitaciones

Aunque el sistema presentó resultados satisfactorios, las pruebas fueron realizadas únicamente en un ambiente controlado de laboratorio. No se evaluó el comportamiento del sensor frente a condiciones ambientales como lluvia, polvo, humedad o interferencias acústicas. Asimismo, el prototipo utilizó un solo sensor ultrasónico, por lo que existen zonas de cobertura limitada que podrían mejorarse mediante la incorporación de sensores adicionales.

Aportes de la investigación

La presente investigación aporta una alternativa tecnológica de bajo costo para mejorar la seguridad durante las maniobras de estacionamiento. Además, demuestra que el uso de plataformas de hardware libre, como Arduino, permite desarrollar soluciones funcionales que pueden ser adaptadas a diferentes aplicaciones de automatización y asistencia vehicular.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 1 DIAGRAMA GENERAL DEL SISTEMA DE ASISTENCIA AL ESTACIONAMIENTO

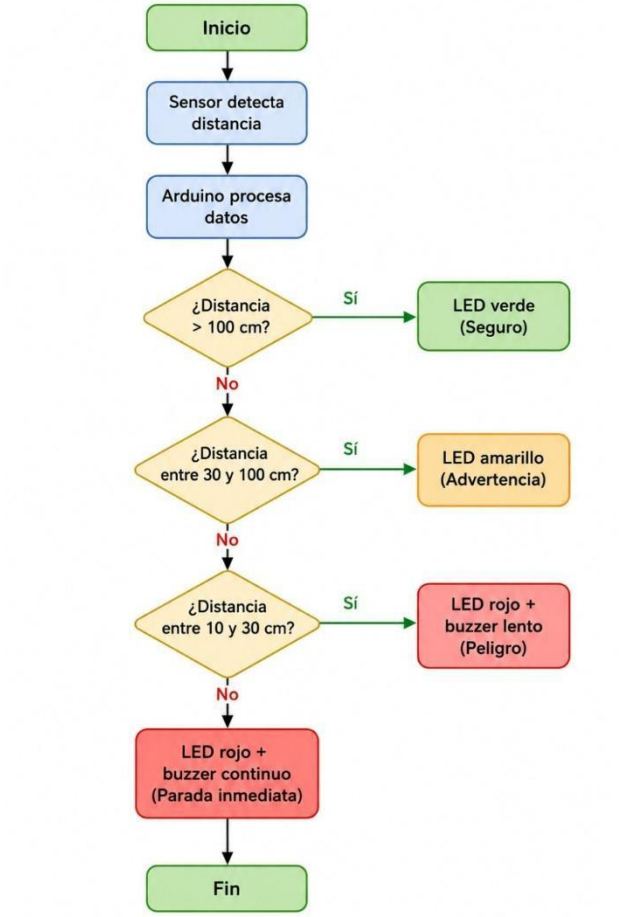


Fig. 2 DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE ASISTENCIA AL ESTACIONAMIENTO

REFERENCIAS

[1] Banzi, M., & Shiloh, M. (2014). *Getting started with Arduino* (3rd ed.). Maker Media. https://www.arduino.cc/en/Guide

[2] Bosch. (2018). *Parking assist systems*. Robert Bosch GmbH. https://www.bosch-mobility.com/en/solutions/assistance-systems/parking-assist/

[3] Bysmax Electrónica. (2024). *Sensor ultrasónico con Arduino: guía completa*. https://electronica.bysmax.com/blog/arduino/sensor-ultrasonico-con-arduino

[4] Kumar, A., & Singh, R. (2020). Real-time obstacle detection system using ultrasonic sensors. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 9(5), 120–124. https://www.ijert.org

[5] Mecatrónica LATAM. (2021). *Sensor ultrasónico con Arduino*. https://www.mecatronicalatam.com/es/tutoriales/proyectos-con-arduino/sensor-ultrasonico-arduino/

[6] Parallax Inc. (2015). *PING))) ultrasonic distance sensor documentation*. https://www.parallax.com/package/ping-ultrasonic-distance-sensor-downloads/

[7] Arduino. (2024). Arduino Uno Rev3. Recuperado de Arduino Official Website

[8] Bosch. (2018). Parking aid systems and driver assistance technologies. Recuperado de Bosch Official Website

[9] Massimo Banzi, & Michael Shiloh. (2014). Getting Started with Arduino (3rd ed.). Maker Media.

[10] Parallax Inc.. (2015). PING Ultrasonic Distance Sensor Documentation. Recuperado de Parallax Official Website

[11] Kumar, A., & Singh, R. (2020). Real-time obstacle detection system using ultrasonic sensors and Arduino. International Journal of Engineering Research & Technology, 9(6), 1120–1124.

[12] Mecatrónica LATAM. (2021). Sensores ultrasónicos: funcionamiento y aplicaciones industriales. Recuperado de Mecatrónica LATAM

[13] Bysmax Electrónica. (2024). Sensor ultrasónico HC-SR04: características y funcionamiento. Recuperado de Bysmax Electrónica

[14] SparkFun Electronics. (2023). Ultrasonic Sensor Hookup Guide. Recuperado de SparkFun Electronics

[15] Rappaport, T. S. (2002). *Wireless Communications: Principles and Practice* (2nd ed.). Prentice Hall.