



Universidad
Señor de Sipán

**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y
URBANISMO
ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
DISEÑO DE CONTROL AUTOMATIZADO PARA UN
SISTEMA MECÁNICO DE LIMPIEZA DE FACHADAS
DE VIDRIO**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE BACHILLER
EN INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

Autor

Chilcon Guerrero Harnol Michel

ORCID <https://orcid.org/0009-0002-8624-7196>

Asesor

Mtro. Vives Garnique Juan Carlos

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-0988-9881>

Línea de Investigación

**Tecnología e innovación en el desarrollo de la construcción y la
industria en un contexto de sostenibilidad**

Sublínea de Investigación

**Innovación y tecnificación en ciencia de los materiales,
diseño e infraestructura**

Pimentel – Perú

2024

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Quien(es) suscribe(n) la DECLARACIÓN JURADA, soy(somos) egresado (s)del Programa de Estudios de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad Señor de Sipán S.A.C, declaro (amos) bajo juramento que soy (somos) autor(es) del trabajo titulado:

DISEÑO DE CONTROL AUTOMATIZADO PARA UN SISTEMA MECÁNICO DE LIMPIEZA DE FACHADAS DE VIDRIO

El texto de mi trabajo de investigación responde y respeta lo indicado en el Código de Ética de la Universidad Señor de Sipán, conforme a los principios y lineamientos detallados en dicho documento, en relación con las citas y referencias bibliográficas, respetando el derecho de propiedad intelectual, por lo cual informo que la investigación cumple con ser inédito, original y autentico.

En virtud de lo antes mencionado, firman:

Chilcon Guerrero Harnol Michel	DNI: 73388923	
--------------------------------	---------------	---

Pimentel, 5 de febrero de 2025

Dedicatoria

A mis seres queridos, por su apoyo constante y su presencia incondicional a lo largo de este recorrido. A mi familia, que me enseñó el verdadero valor del esfuerzo y la perseverancia, y que siempre estuvo allí para darme fuerzas. Y a todas las personas que creyeron en mí, este trabajo es un reflejo de su confianza, su amor y su motivación.

Harnol Michel Chilcon Guerrero

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que hicieron posible la realización de esta investigación:

A mis mentores y profesores, por su guía, apoyo y por iluminar el camino de este proyecto con su vasto conocimiento.

A mis compañeros y colegas, por su constante apoyo, sus críticas constructivas y por mantenerme motivado a lo largo de este proceso.

A mi familia, por su paciencia, comprensión y aliento en los momentos más desafiantes.

Finalmente, agradezco a todos aquellos que, directa o indirectamente, contribuyeron a este logro. Su impacto, aunque a veces imperceptible, fue esencial para alcanzar esta meta.

Con respeto y gratitud,

Harnol Michel Chilcon Guerrero

Índice

Dedicatoria.....	3
Agradecimientos	4
INDICE DE TABLAS	6
INDICE DE FIGURAS	6
Resumen	7
Abstract.....	8
I. INTRODUCCIÓN.....	9
1.1. Realidad Problemática.	9
1.2. Formulación del problema	12
1.3. Hipótesis.	12
1.4. Objetivos.	12
1.5. Teorías relacionadas al tema.	12
II. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN.....	23
III. RESULTADOS:.....	25
IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	40
Referencias	43
ANEXOS	46

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Comparativa del mejor modelo.....	21
Tabla 2 Conexiones de sensores y actuadores en Arduino	31
Tabla 3 Comparativa entre las distancias máximas de detección de obstáculos y el costo de cada sensor.....	38

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Detalle interno de un robot aspirador	17
Fig. 2 Patente del robot ROOMBA.....	17
Fig. 3 Configuraciones típicas de emisor/receptor ópticos (a, b, c)	20
Fig. 4 Vista isométrica superior del prototipo	26
Fig. 5 Vista isométrica inferior del prototipo	27
Fig. 6 Esquema de conexión del sistema electrónico conformado por Arduino	29
Fig. 7 Diagrama de flujo del algoritmo de control	34
Fig. 8 Gráfico de la función Serial Plotter para el sensor de colisión.....	36
Fig. 9 Gráfico de la función Serial Plotter para el sensor de proximidad.....	37
Fig. 10 Gráfico de la función Serial Plotter para el sensor Sharp	37
Fig. 11 Gráfico de la función Serial Plotter para el sensor Sharp.	38

Resumen

El objetivo principal de esta investigación es diseñar un sistema electromecánico autónomo capaz de realizar tareas de desplazamiento, succión y limpieza mediante la integración de sensores y un algoritmo de control que gestione las funciones del sistema de manera eficiente. La investigación se llevó a cabo en cuatro fases: el diseño preliminar del prototipo, la creación del sistema electrónico con sensores de colisión, infrarrojos de proximidad, ultrasonido y un sensor Sharp, el desarrollo de un algoritmo de control para gestionar el desplazamiento y la limpieza, y la simulación de la respuesta de los sensores para evaluar su desempeño en distintas condiciones. Los resultados mostraron que el sistema tiene un funcionamiento adecuado en términos de desplazamiento y succión, aunque los sensores presentaron variabilidad en su precisión. El sensor de infrarrojos de proximidad y el de colisión funcionaron bien en distancias cortas, pero el sensor de ultrasonido mostró ruidos en las lecturas. El algoritmo de control resultó eficiente en las tareas principales, pero se requieren mejoras para adaptarse mejor a condiciones imprevistas. La simulación de los sensores permitió identificar áreas de mejora, especialmente en precisión y confiabilidad.

Palabras Clave: Sistema electromecánico, sensores, algoritmo de control, simulación de respuesta.

Abstract

The main objective of this research is to design an autonomous electromechanical system capable of performing tasks such as movement, suction, and cleaning by integrating sensors and a control algorithm that efficiently manages the system's functions. The research was carried out in four phases: the preliminary prototype design, the creation of the electronic system with collision sensors, proximity infrared, ultrasonic sensors, and a Sharp sensor, the development of a control algorithm to manage movement and cleaning, and the simulation of sensor responses to assess their performance under different conditions. The results showed that the system performed adequately in terms of movement and suction, although the sensors exhibited variability in their precision. The proximity infrared and collision sensors worked well at short distances, but the ultrasonic sensor showed noise in its readings. The control algorithm was effective in performing the main tasks, but improvements are needed to better adapt to unforeseen conditions. Simulating the sensors allowed the identification of areas for improvement, particularly in precision and reliability.

Keywords: Electromechanical system, sensors, control algorithm, response simulation.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática.

En la arquitectura moderna, el uso de paneles de vidrio en las fachadas de los edificios ha ganado popularidad debido a su capacidad para proporcionar un acabado limpio y sofisticado. Sin embargo, mantener la apariencia impecable de estas superficies a lo largo del tiempo representa un desafío significativo.

Actualmente, existen más de 80,000 edificios de varios pisos en el mundo que superan las 12 plantas, y más del 30% de ellos cuentan con fachadas de vidrio [1]. Aunque las formas arquitectónicas de los edificios han evolucionado rápidamente, los métodos de limpieza de estas superficies han permanecido prácticamente inalterados, confiando en técnicas manuales tradicionales que demandan una gran cantidad de mano de obra. La limpieza manual de fachadas de vidrio en rascacielos no solo es intensiva en recursos humanos, sino que también implica riesgos considerables para los trabajadores, especialmente en condiciones climáticas adversas. Además, la escasez de personal capacitado, los peligros asociados y las limitaciones de productividad han fomentado un creciente interés en desarrollar sistemas robóticos especializados para la limpieza de fachadas de vidrio en edificaciones de gran altura.

En las últimas décadas, se han realizado numerosos esfuerzos para diseñar y perfeccionar robots capaces de limpiar fachadas de edificios. Estos avances incluyen la creación de robots para superficies horizontales e incluso para escaleras [2]. La limpieza de fachadas de vidrio en edificios modernos es una tarea crucial dentro del mantenimiento estructural, y la automatización de esta actividad mediante robots representa una alternativa prometedora al trabajo humano. Entre los aspectos investigados en los robots de limpieza de fachadas se encuentran los

mecanismos de escalada, la interacción humano-robot, las estrategias de control y el desarrollo de autonomía [3], [4].

Desde un punto de vista mecánico, estos robots deben escalar superficies verticales, lo que exige distintos tipos de movimientos cinemáticos, como marcos deslizantes [5] , orugas de cadena, ruedas y sistemas de múltiples patas [6]. Además, utilizan diversas técnicas adhesivas, como ventosas [7], [8], pinzas de agarre, impulsores y sistemas de presión negativa que les permiten adherirse a las superficies verticales [9].

Los robots con patas han sido ampliamente estudiados. Por ejemplo, Nishi et al. [10] desarrollaron un robot bípedo que utiliza ventosas en cada pie para escalar paredes verticales. De manera similar, Yanagida et al. presentaron Scorpio [11], un robot reconfigurable que combina movimientos de gateo, rodado y escalada. Aunque los mecanismos bípedos como los de [10] y [11] son portátiles, su funcionalidad está limitada a áreas sin obstáculos. Otros diseños, como los robots de cuatro patas propuestos en [12] y [13], y el Robug III con ocho extremidades articuladas [14], pueden trepar superficies rugosas, pero presentan desafíos en el control de marcha y menor velocidad de locomoción debido a su movimiento paso a paso.

Para superar estas limitaciones, se prefieren robots con ruedas y cadenas en ciertas aplicaciones. Por ejemplo, [15] y [16] describen robots que emplean cadenas combinadas con ventosas para adherirse y desplazarse en superficies verticales. Otros diseños, como los de [17], [18], incorporan cilindros neumáticos para limpiar superficies inclinadas.

Los métodos de adhesión varían según el tipo de superficie y la aplicación del robot. Rosa et al. [19] propusieron un robot que utiliza ocho ventosas, mientras que Menon et al. [20] desarrollaron adhesivos secos sintéticos para superficies lisas.

Métodos como la adhesión mecánica y magnética también han sido explorados. Nishi [21] empleó una hélice para generar fuerza de adhesión, mientras que Longo et al. [22] y Xu et al. [23] utilizaron electroimanes y ventosas magnéticas para superficies ferromagnéticas. Aunque estas técnicas son efectivas, las ventosas de vacío son las más utilizadas para superficies lisas como vidrio o cerámica.

Además de la estructura mecánica, la interacción humano-robot es fundamental. Luk et al. [24] presentaron robots teleoperados mediante herramientas de instrucción de seis grados de libertad, mientras que Sintov et al. [25] y Balaguer et al. [26] diseñaron interfaces gráficas que permiten controlar robots y alternar entre modos autónomos y teleoperados.

El control del movimiento es otro aspecto crucial. Chen et al. [13] implementaron algoritmos como SLS, LHAP y SAAP para optimizar la planificación de rutas. Longo et al. [27] y Fischer et al. [28] demostraron estrategias de control basadas en datos sensoriales, mientras que Gimenez et al. [29] propusieron un control PID adaptativo para corregir desviaciones. Desde una perspectiva de autonomía, Sintov et al. [25] y Balaguer et al. [26] desarrollaron algoritmos que permiten la navegación autónoma en entornos complejos.

En este contexto, presentamos el diseño, desarrollo y control de un robot denominado Mantis, equipado con succión activa variable para la limpieza de fachadas de vidrio. Aunque existen plataformas robóticas para esta tarea, muchas carecen de autonomía en la limpieza [30], [31], así como de capacidades para detectar marcos y superar obstáculos entre paneles de ventanas.

El presente trabajo se propone un método de control mediante simulaciones para el sistema electromecánicos de un limpiador de vidrios para edificios.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál será la estructura del algoritmo requerida para el control del sistema electromecánico para limpiar ventanas de vidrio en edificios?

1.3. Hipótesis.

Utilizando el software Arduino la estructura del algoritmo dependerá de las tareas requeridos por el sistema electromecánico de limpieza conformado por sensores y actuadores.

1.4. Objetivos.

Objetivo general.

Diseñar el control automatizado para un sistema mecánico de limpieza de fachadas de vidrio

Objetivos específicos.

- Diseñar el prototipo preliminar del sistema electromecánico.
- Diseñar el sistema electrónico del sistema electromecánico.
- Generar el algoritmo de control para el sistema de desplazamiento, sistema de succión y sistema de limpieza.
- Simular la respuesta de sensado de los componentes electrónicos

1.5. Teorías relacionadas al tema.

Robots Aspiradores

Los robots aspiradores se han convertido en un producto estrella en el mercado actual gracias a la comodidad y facilidad que ofrecen a sus usuarios. En un mundo donde el ritmo de vida es acelerado y el tiempo libre es cada vez más escaso, muchas personas recurren a la tecnología para simplificar las tareas del hogar.

Uno de los mejores ejemplos de esta tendencia son los robots aspiradores. Estos dispositivos permiten mantener los suelos limpios de manera rápida, eficiente y, sobre todo, autónoma, reduciendo la necesidad de supervisión y mantenimiento.

a. Criterios para elegir un robot aspirador

A la hora de comprar un robot aspirador, es fundamental considerar varios aspectos. En general, sus características están directamente relacionadas con su precio, por lo que podemos dividirlos en dos grandes categorías:

- Robots de gama baja: modelos más económicos con prestaciones tecnológicas básicas.
- Robots de gama alta: dispositivos más avanzados, con funciones sofisticadas que justifican su mayor costo.

Si bien existen modelos de gama media que combinan características de ambas categorías, en este análisis nos enfocaremos en los extremos del mercado.

A continuación, se detallan los principales criterios a tener en cuenta al evaluar un robot aspirador:

- Nivel de autonomía

Es clave que el robot pueda moverse sin problemas por la casa, sorteando obstáculos como cables, muebles y puertas, y adaptándose a diferentes superficies como suelos duros, alfombras y moquetas.

- Gama baja: suelen contar con sensores básicos de detección de obstáculos y motores menos potentes, lo que puede hacer que se queden atascados o no lleguen a limpiar ciertas zonas. En estos casos, el usuario debe retirar obstáculos o mover manualmente el robot si se queda atrapado.

- Gama alta: gracias a sistemas de detección más avanzados y motores potentes, estos robots pueden desplazarse de manera autónoma sin quedar atrapados, logrando una limpieza completa sin intervención humana.
- Calidad de la limpieza

Más allá de la capacidad de moverse, es importante evaluar qué tan bien realiza la limpieza.

 - Gama baja: suelen tener motores de succión menos potentes, lo que puede requerir varias pasadas para lograr una limpieza aceptable.
 - Gama alta: gracias a motores más potentes, estos robots aspiran la suciedad de manera más eficiente, reduciendo el tiempo y el consumo de batería.
- Capacidad de regresar a la base de carga

Muchos modelos actuales pueden regresar automáticamente a su base para recargarse cuando la batería está baja.

 - Gama baja: no cuentan con esta función, por lo que el usuario debe estar atento a la carga de la batería y colocar manualmente el robot en la base cuando sea necesario.
 - Gama alta: pueden regresar solos a la base cuando detectan que la batería está baja y, en muchos casos, retoman la limpieza desde el punto donde la dejaron tras recargarse.
- Duración de la batería

La autonomía de la batería varía según el modelo y la marca, y es un factor clave según el tamaño del área a limpiar.

 - Gama baja: al no contar con la función de regreso automático a la base, pueden quedarse sin batería en medio de la limpieza, dejando zonas sin aspirar hasta que alguien los recargue manualmente.

- Gama alta: pueden reanudar la limpieza tras la recarga, asegurando que toda la superficie quede limpia sin interrupciones.

- Sistema de navegación

El rendimiento de un robot aspirador depende de su capacidad para limpiar eficientemente una zona con el menor número de repeticiones.

- Gama baja: suelen utilizar navegación aleatoria, lo que puede hacer que pasen varias veces por algunas zonas mientras dejan otras sin limpiar.
- Gama alta: emplean sistemas avanzados de navegación que les permiten cubrir toda la superficie de manera uniforme y volver a pasar por áreas con mayor suciedad si es necesario.

- Facilidad de mantenimiento

Todos los robots aspiradores requieren mantenimiento periódico, como vaciar el depósito de residuos y cambiar los filtros. Las marcas han desarrollado soluciones para facilitar estas tareas y reducir el esfuerzo del usuario.

- Programación

La capacidad de programar el robot es clave para una mayor autonomía.

- Gama baja: algunos modelos incluyen mandos a distancia con infrarrojos para programar la limpieza en horarios específicos.
- Gama alta: permiten programarlos a través de aplicaciones móviles, ofreciendo funciones adicionales como notificaciones de mantenimiento y mapas de las zonas más sucias o con más obstáculos.

- Técnicas de navegación

Los algoritmos de navegación son esenciales para que los robots aspiradores se desplacen de manera eficiente. Uno de los métodos más utilizados en la actualidad es el SLAM (Simultaneous Localization and

Mapping), que permite al robot conocer su posición en la habitación, identificar las áreas ya limpiadas y planificar la mejor ruta para completar la tarea.

Existen diferentes tecnologías para la detección del entorno [32]:

- Láser: altamente precisos y eficientes, aunque pueden tener dificultades para detectar superficies transparentes como ventanas. Suelen encontrarse en modelos de gama alta debido a su alto costo.
- Sónar: fueron muy populares por su bajo costo y su capacidad de funcionar bajo el agua, lo que los hace ideales para robots de limpieza de piscinas. Sin embargo, son menos precisos que los sensores láser.
- Cámaras: funcionan de manera similar a la visión humana y proporcionan gran cantidad de información. Sin embargo, requieren procesadores potentes para interpretar los datos en tiempo real y no funcionan en la oscuridad.

Aspiración

La mayoría de los robots aspiradores funcionan de manera similar. Como se muestra en la siguiente imagen, cuentan con cepillos laterales giratorios que dirigen la suciedad hacia la parte inferior del dispositivo. Allí, otros cepillos rotatorios, conocidos como agitadores, trasladan los residuos hacia el interior del robot. Un motor de succión se encarga de aspirar la suciedad, almacenándola en un depósito interno

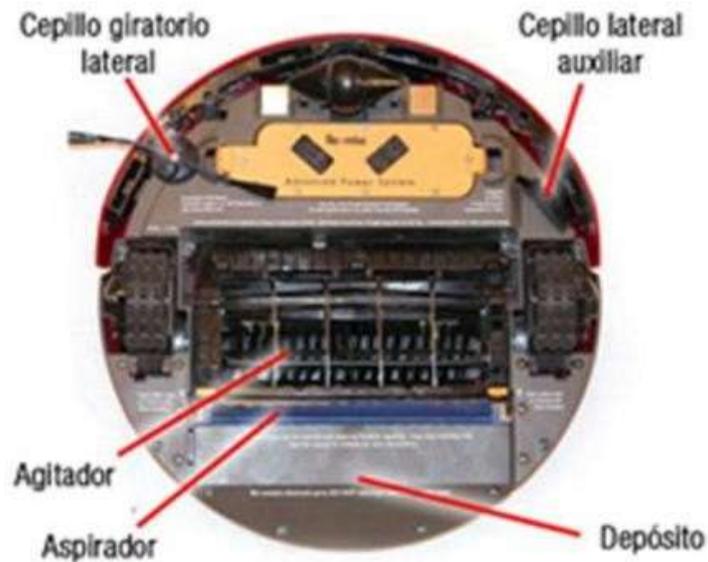


Fig. 1 Detalle interno de un robot aspirador

Fuente: Ando Robots [33]

En la siguiente imagen, corresponde a una patente de Roomba, se pueden identificar los cepillos laterales, marcados con el número 76, y los cepillos rotatorios, indicados con los números 92 y 94.

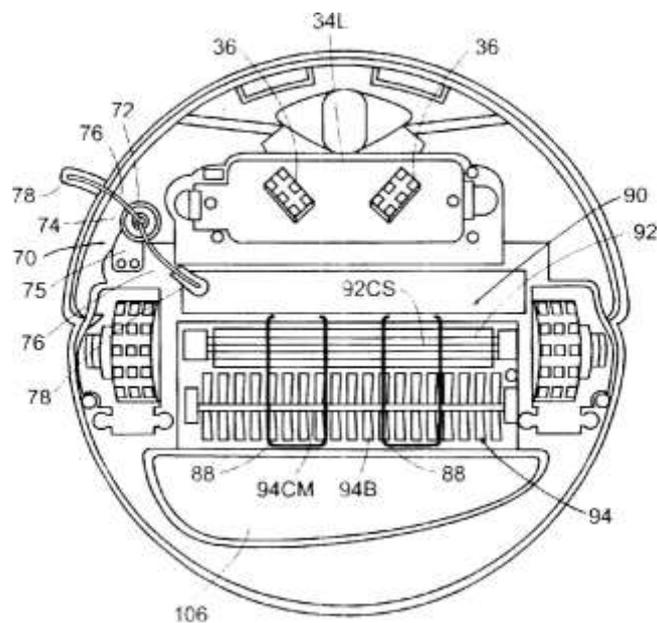


Fig. 2 Patente del robot ROOMBA.

Fuente: Unites States Patent [34]

Componentes principales:

Sensores Roomba:

Al igual que los seres humanos usamos nuestros sentidos para interactuar con el entorno, los robots aspiradores dependen de sensores para desempeñar su función. Sin embargo, los sensores de estos dispositivos suelen proporcionar información limitada. Es como si el oído humano solo pudiera captar una frecuencia o la vista solo percibiera un color.

El verdadero desafío radica en combinar los datos de todos los sensores y generar respuestas inmediatas sobre las acciones que debe realizar el robot. A medida que se desplaza, el robot actualiza constantemente la información de su entorno.

Como se observa en la Ilustración 3, la mayoría de los sensores están ubicados en la parte frontal del robot, ya que normalmente avanza de frente.

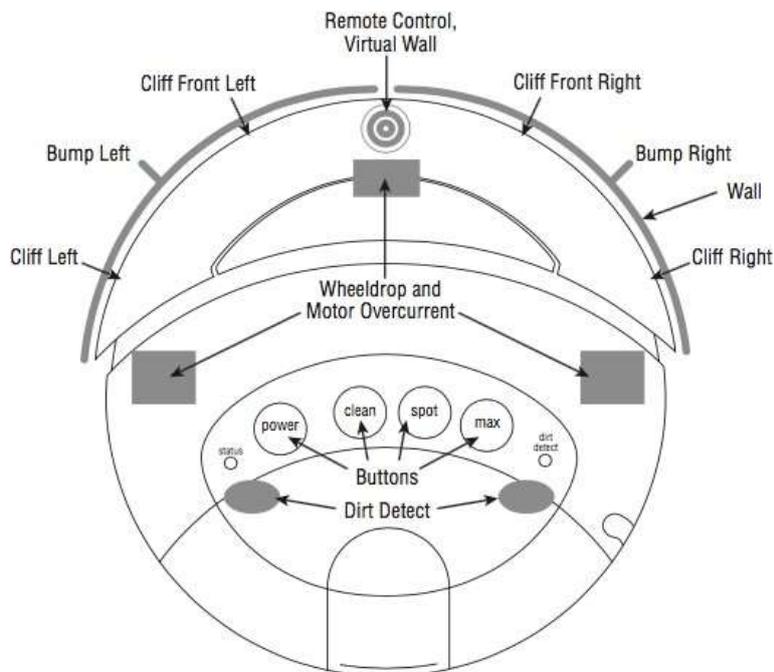


Ilustración 3 Sensores Roomba

Fuente: Libro "Hacking Roomba" de T. E. Kurt [35]

Casi todos los sensores empleados son infrarrojos, ya que minimizan el desgaste y la fricción característica de los sensores de contacto, lo que prolonga su vida útil. No obstante, suelen ser más costosos y complejos de manejar. Según Kurt, 2007, los sensores ópticos de Roomba se dividen en tres tipos principales:

- **Acoplador óptico (optoisolator):** Consiste en un LED infrarrojo como emisor y un fototransistor como receptor. Cuando se aplica corriente al LED, este emite un haz de luz que el receptor convierte en una señal eléctrica. En Roomba, este sensor se usa para detectar la base de carga, con un emisor en la base y un receptor en la parte frontal del robot.
- **Interruptores ópticos:** Funcionan interponiendo una barrera física entre el emisor y el receptor. Existen dos variantes:
 - **En las ruedas:** Un disco dentado se encuentra entre el emisor y el receptor. Al contar los pulsos recibidos, se puede determinar la rotación de las ruedas y, por ende, la posición del robot.
 - **En el parachoques (bump sensor):** Cuando el robot choca contra un obstáculo, la barrera se mueve y bloquea el haz de luz, permitiendo detectar la colisión.
- **Detector óptico de objetos:** En lugar de apuntar directamente al receptor, el emisor proyecta luz que rebota en los objetos cercanos antes de ser captada por el receptor. Este sistema permite identificar obstáculos o detectar la ausencia de suelo, como en el caso de escaleras (Cliff Sensor).

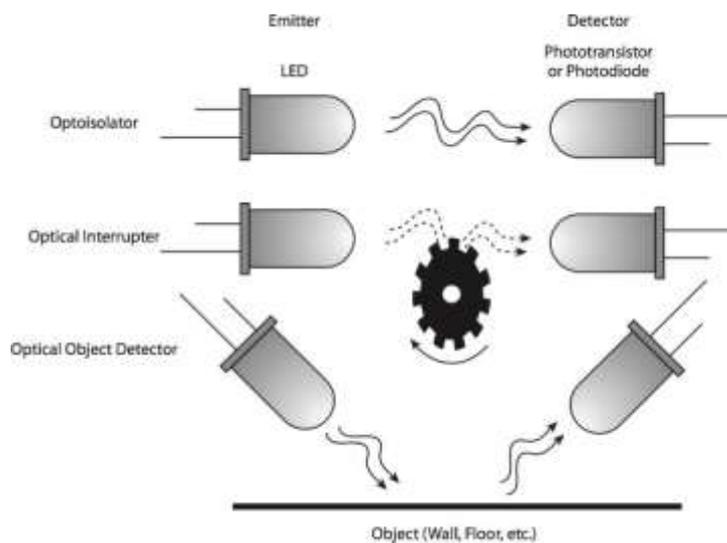


Fig. 3 Configuraciones típicas de emisor/receptor ópticos (a, b, c)

Fuente: Libro "Hacking Roomba" de T. E. Kurt [35]

Otros sensores menos utilizados, pero igualmente importantes, incluyen:

- **Microinterruptores (Wheeldrop and Buttons):** Permiten detectar desniveles. Si la rueda está elevada, el interruptor se acciona; si está en el suelo, se libera.
- **Detectores de suciedad (Dirt detector sensors):** Sensores piezoeléctricos que generan señales eléctricas cuando una gran cantidad de partículas impactan contra ellos, indicando zonas con alta concentración de suciedad.

Comparativa de los mejores modelos de cada marca:

A continuación, se presenta un análisis del mejor modelo de cada marca, representado en la siguiente tabla:

Tabla 1 Comparativa del mejor modelo.

	Conga Excellence 990 [36]	iLife A6 [37]	LG Hombot Turbo serie 12 [38]	Neato Botvac D7 Connected [39]	Roomba 980 [40]	Dyson 360 [41]
Año	2017	2017	2016	2017	2015	2014
Precio Amazon (€)	219	250	799	n.d. 899 en su web	958,65	1215,42
Potencia de succión (W)	25	22	40	50	33	n.d
Autonomía de la batería (min)	130	160	100	120	120	80
Peso (Kg)	4,7	4,9	3	3,5	3,94	2,45
Voltaje (V)	14,8	n.d.	14,4	14,4	14,4	n.d.
Vuelve solo a la base	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Programable	Mando	Mando	App móvil	App móvil	App móvil	App móvil
Altura (cm)	12	7	8,9	10	9	11
Cámara	No	No	Si	No, láser	Si	Si

Existe una gran diferencia de precio entre los modelos analizados, dependiendo de la marca. Las opciones más costosas suelen incorporar mejoras respecto a las más económicas, especialmente en lo que respecta a los sistemas de navegación y la eficiencia en

la limpieza. Estos modelos cuentan con cámaras o tecnologías similares que les permiten establecer un patrón de limpieza optimizado según diversos parámetros.

En cambio, marcas más costosas como Conga o iLife A6 operan mediante patrones aleatorios, lo que reduce su eficiencia. No obstante, todos los modelos pueden ser controlados mediante un mando a distancia o una aplicación móvil. En el caso de las marcas más caras, estas permiten la programación a través de Wifi y ofrecen estadísticas de limpieza, además de alertas sobre el mantenimiento necesario.

Es importante destacar que la diferencia de precio entre las marcas más caras y las más económicas ronda los 650 dólares. Si solo se busca un robot aspirador funcional, sin necesidad de características avanzadas y sin importar el tiempo que tarde en completar la limpieza, las opciones más baratas resultan más rentables.

Otro aspecto a considerar es el peso, ya que los modelos más pesados pueden ser difíciles de trasladar entre habitaciones. Asimismo, la altura es un factor relevante, ya que lo ideal es que puedan pasar por debajo de sofás y muebles, aunque esto no siempre es posible si el mobiliario es demasiado bajo.

II. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

El objetivo principal de esta investigación es desarrollar un sistema electromecánico funcional que integre diferentes subsistemas, como el de desplazamiento, succión y limpieza, con un enfoque en el diseño tanto del hardware como del software. En primer lugar, se comenzará con el diseño preliminar del prototipo, eligiendo los componentes mecánicos clave, como los motores y actuadores, para garantizar que el sistema sea estable, eficiente y capaz de cumplir con sus funciones. Durante este proceso, se realizarán pruebas para asegurar de que todos los componentes trabajen de manera conjunta, con el fin de lograr un funcionamiento fluido y eficiente.

Simultáneamente, se diseñará el sistema electrónico que permitirá que el prototipo interactúe con su entorno. Para ello, se seleccionarán sensores específicos, como el sensor de colisión, los sensores infrarrojos de proximidad, el sensor infrarrojo Sharp y el sensor ultrasónico HC-SR04. Estos sensores proporcionarán la información necesaria para que el sistema detecte obstáculos y ajuste su comportamiento en consecuencia. El corazón de este sistema será un microcontrolador Arduino, que recibirá las señales de los sensores y, en base a estas, generará las instrucciones necesarias para controlar los actuadores del prototipo.

Una vez diseñados los componentes mecánicos y electrónicos, se procederá a crear el algoritmo de control. Este algoritmo será el encargado de gestionar las tres funciones esenciales del sistema: desplazamiento, succión y limpieza. A través de la información proporcionada por los sensores, el algoritmo tomará decisiones sobre cómo mover el prototipo, activar el sistema de succión y limpiar las superficies de manera eficiente. Para el desplazamiento, se utilizarán los sensores para evitar

obstáculos y optimizar el recorrido del sistema. En cuanto a la succión, el algoritmo se encargará de activar el mecanismo de succión cuando detecte áreas que necesiten ser limpiadas, y el sistema de limpieza se ajustará para cubrir todas las áreas de manera efectiva. A lo largo de este proceso, se realizarán diversas pruebas para asegurar que el algoritmo sea flexible y pueda adaptarse a diferentes situaciones de manera adecuada.

Finalmente, se simulará cómo responden los sensores ante distintas condiciones. Se analizará cómo cambia la señal de cada sensor según los obstáculos detectados. Por ejemplo, el sensor de colisión enviará una señal digital que cambiará de 0 a 1 cuando detecte un objeto en contacto. En el caso del sensor infrarrojo de proximidad, se observará cómo la señal pasa de 1 a 0 dependiendo de si hay o no un obstáculo dentro de su alcance. El sensor de Sharp, al ser analógico, mostrará una señal más variable, lo que se tendrá en cuenta al evaluar su desempeño. Y el sensor ultrasónico, aunque también digital, presentará algunas fluctuaciones debido al ruido en la señal reflejada, lo que se analizará para ajustar su precisión. Estos experimentos de simulación nos permitirán optimizar el sistema y mejorar su respuesta ante diferentes condiciones, asegurando que el sistema electromecánico sea confiable y eficiente en su funcionamiento.

III. RESULTADOS:

3.1. Diseño del prototipo del sistema electromecánico:

El sistema electromecánico del limpiador de vidrio automático mostrado en la figura 4 y 5, está diseñado para desplazarse con precisión sobre superficies verticales, adherirse firmemente mediante succión y limpiar de manera eficiente. Para lograrlo, integra distintos componentes mecánicos y eléctricos que trabajan en conjunto. A continuación, se describe su funcionamiento, destacando la función de cada elemento, los materiales con los que están fabricados y sus principales características técnicas son:

A. Sistema de movimiento y desplazamiento

Para moverse con precisión sobre la superficie del vidrio, el dispositivo cuenta con un motor de engranajes, ruedas y un sistema de transmisión que garantizan un desplazamiento estable y controlado.

El motor de engranajes de corriente continua (CC) es el encargado de proporcionar la fuerza necesaria para el movimiento. Está fabricado con una carcasa de aluminio o acero inoxidable, mientras que sus bobinas internas son de cobre y los imanes de neodimio. Opera con un voltaje de 24V DC, una potencia de 30W-50W y un torque de 3-5 Nm, con una velocidad de giro de 100-300 rpm y una relación de reducción de 1:10-1:50.

El movimiento generado por el motor se transmite a través de un engranaje cónico, que permite cambiar la dirección del giro sin pérdida de eficiencia. Este componente, fabricado en acero templado, latón o plástico de alta resistencia como el nylon o POM (polioximetileno), tiene un diámetro de 20 - 50 mm y una relación de transmisión de 1:1, 1:2 o 1:3, dependiendo del diseño del dispositivo.

Para sostener todos los componentes mecánicos y eléctricos, el sistema cuenta con un carro, que actúa como la estructura principal del limpiador. Está fabricado en

aluminio de grado aeronáutico o plástico ABS de alta resistencia, asegurando un peso ligero de entre 500 y 1500 gramos sin comprometer su rigidez y durabilidad.

El desplazamiento sobre la superficie del vidrio es posible gracias a un conjunto de ruedas. La rueda transversal, fabricada en poliuretano o silicona, permite movimientos laterales y tiene un diámetro de 40 - 70 mm, con una dureza de 60 - 80 Shore A, lo que la hace resistente pero lo suficientemente flexible para un agarre óptimo. Complementando este sistema, las ruedas principales, hechas de goma o silicona con un núcleo de plástico reforzado o aluminio, tienen un diámetro de 50 - 100 mm y un ancho de 10 - 30 mm, proporcionando estabilidad y un rodamiento suave.

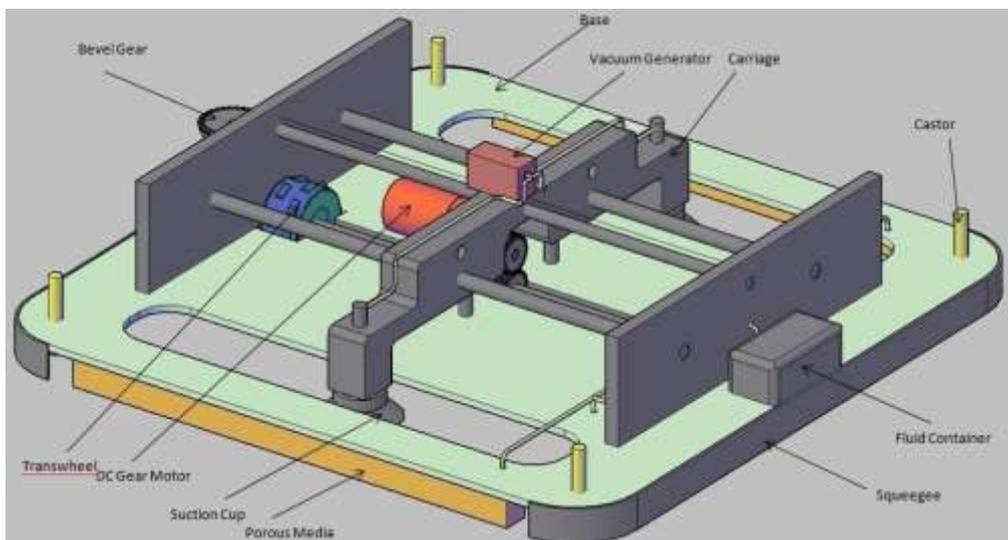


Fig. 4 Vista isométrica superior del prototipo

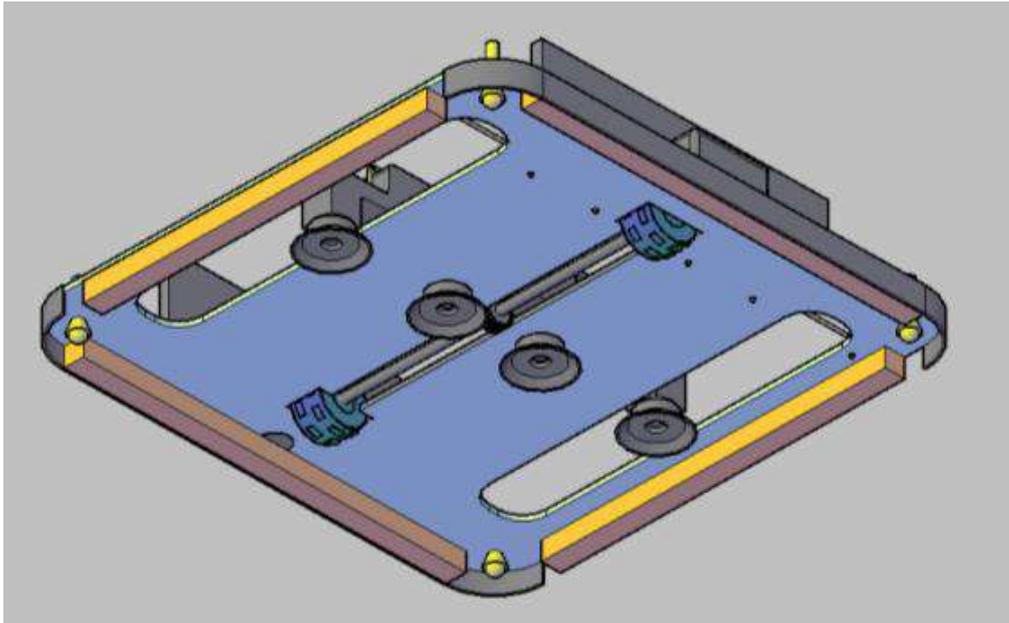


Fig. 5 Vista isométrica inferior del prototipo

B. Sistema de adherencia al vidrio

Para mantenerse en la superficie sin caerse, el limpiador utiliza un sistema de vacío que genera una succión estable y segura.

El elemento central de este sistema es el generador de vacío, que crea la presión negativa necesaria para que el dispositivo se adhiera al vidrio. Utilice una bomba de vacío de membrana o diafragma, con una carcasa de plástico ABS o aluminio y membranas internas de caucho o silicona. Funciona con un voltaje de 12V - 24V DC, una potencia de 5W - 15W, y genera una presión de vacío de -50 a -85 kPa, con un flujo de aire de 3 - 10 L/min.

La succión generada se distribuye a través de una ventosa, que sella herméticamente el limpiador contra el vidrio. Fabricada en silicona de alta adherencia o caucho de nitrilo (NBR), tiene un diámetro de 50 - 100 mm y una resistencia a la tracción de 1,5 - 3 MPa, lo que le permite soportar el peso del dispositivo sin despegarse.

Para mejorar la distribución del vacío y garantizar una succión uniforme, se integran medios porosos en el sistema de adherencia. Estos están hechos de espuma de poliuretano o membrana de silicona microporosa, con un espesor de 3 - 10 mm, asegurando una sujeción estable incluso en superficies irregulares.

C. Sistema de limpieza

Además de desplazarse y adherirse, el limpiador debe garantizar un proceso de limpieza eficiente, eliminando la suciedad y los residuos del vidrio.

El fluido limpiador se almacena en un contenedor de fluido, el cual está diseñado para ser resistente a productos químicos y facilitar la dispensación del líquido. Fabricado en polietileno (PE) o policarbonato (PC), tiene una capacidad de 100 - 500 ml, lo que permite varias sesiones de limpieza sin necesidad de recarga frecuente.

Para eliminar el exceso de líquido y residuos, se emplea una escobilla de goma, que actúa como un limpiaparabrisas sobre la superficie del vidrio. Está fabricado en caucho sintético, silicona o neopreno, con una longitud de 100 - 300 mm, un espesor de 2 - 5 mm y una dureza de 40 - 70 Shore A, garantizando flexibilidad y durabilidad.

3.2. Diseño del sistema electrónico:

El diseño electrónico de este prototipo de limpiador de vidrios automático se basa en una integración inteligente de sensores, actuadores y un controlador Arduino Mega, lo que le permite moverse de forma autónoma, detectar obstáculos y evitar caídas mientras realiza la limpieza (fig. 6). Para lograr esto, se han implementado tres sistemas principales: el sistema de succión, que mantiene el robot adherido a la superficie; el sistema de desplazamiento, que le permite moverse y evitar colisiones; y el sistema de limpieza, encargado de eliminar la suciedad de manera eficiente.

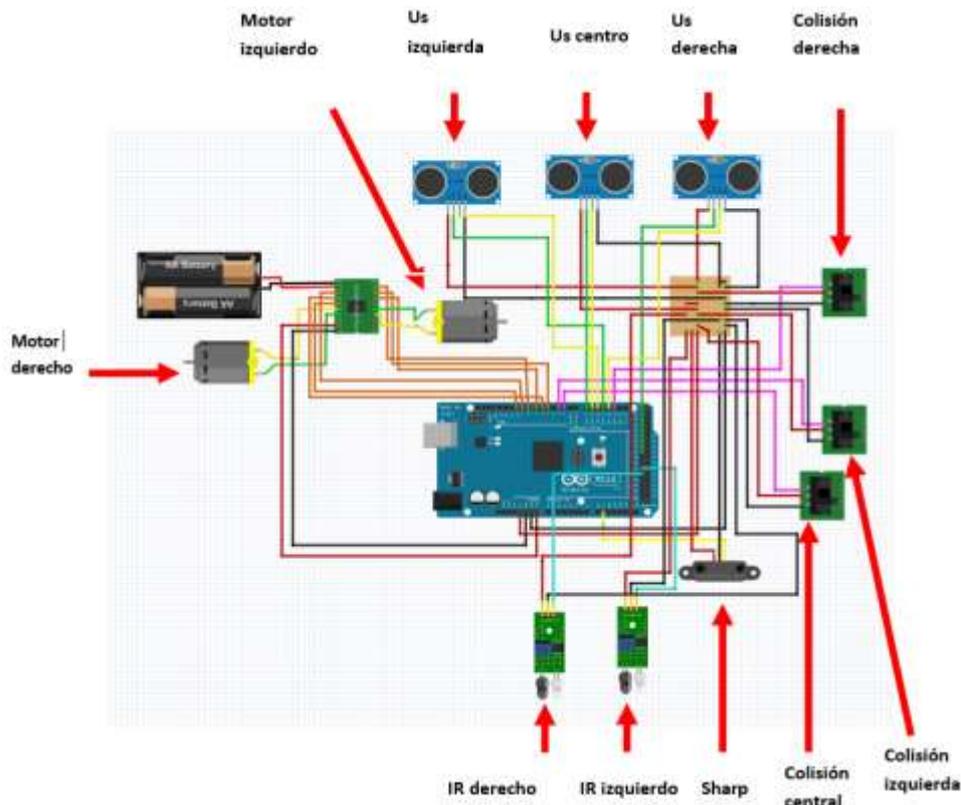


Fig. 6 Esquema de conexión del sistema electrónico conformado por Arduino

El sistema de succión es fundamental para garantizar que el robot permanezca adherido al vidrio sin deslizarse. Esto se logra mediante un generador de vacío, que crea una presión negativa dentro de las ventosas, permitiendo que el robot se fije firmemente a la superficie. Este generador es una mini bomba de vacío DC, fabricada con una carcasa de ABS resistente, diafragma de goma flexible y componentes internos de cobre. Funciona con un voltaje de 12V a 24V DC, con un consumo de 300 - 500 mA, generando un nivel de vacío de hasta -60 kPa. Para mejorar la distribución del vacío, las ventosas están fabricadas de silicona flexible, mientras que los medios porosos de espuma de poliuretano permiten regular el flujo de aire, evitando pérdidas de succión y asegurando un agarre estable incluso en superficies irregulares.

El sistema de desplazamiento permite que el robot se desplace sobre el vidrio y ajuste su trayectoria para evitar obstáculos. Está compuesto por motores de corriente continua con engranajes, que proporcionan la fuerza necesaria para mover las ruedas y garantizar una

velocidad de limpieza constante. Estos motores están contruidos con una carcasa de aluminio, bobinas de cobre y ejes de acero, operando a un voltaje de 12V-24V DC, con un torque de 1-3 Nm y una velocidad de 100-300 rpm. Para controlar su movimiento, se utiliza un driver de motores L298N, que regula la velocidad y dirección mediante señales enviadas desde el Arduino Mega. Este controlador, fabricado en una PCB de fibra de vidrio con un disipador de aluminio, soporta un voltaje de hasta 35V DC y una corriente de 2A por canal, protegiendo los motores contra el sobrecalentamiento.

Para garantizar un desplazamiento seguro, el robot cuenta con un conjunto de sensores que le permiten identificar obstáculos y bordes peligrosos. Los sensores ultrasónicos (HC-SR04) , instalados en la parte frontal, detectan objetos cercanos midiendo el tiempo que tarda una onda de sonido en rebotar. Estos sensores están fabricados con plástico ABS y transductores de cerámica, operando a un voltaje de 5V DC, con una distancia de detección de 2 cm a 4 m y un ángulo de 15° . Si un obstáculo es identificado, el robot ajusta su trayectoria girando o retrocediendo. Además, los sensores de colisión, ubicados en los extremos, detectan impactos físicos mediante microinterruptores de cobre, enviando una señal digital al Arduino cuando el robot toca un objeto.

Para evitar caídas en bordes o desniveles, el robot también cuenta con sensores infrarrojos (IR) que detectan cambios en la superficie. Estos sensores, compuestos por un emisor LED infrarrojo y un fototransistor, trabajan con un voltaje de 5V DC y pueden detectar diferencias de nivel en un rango de 0,2 cm a 3 cm. Cuando el sensor detecta la ausencia de superficie, el robot detiene su movimiento o cambia de dirección automáticamente.

Tabla 2 Conexiones de sensores y actuadores en Arduino

Pin Arduino Mega	Componente	
3 (interrupción)	Colisión izquierda	
2 (interrupción)	Colisión central	
19 (interrupción)	Colisión derecha	
17	Echo izquierda	US izquierda
16	Trigger izquierda	
14	Echo centro	US centro
15	Trigger centro	
18	Echo derecha	US derecha
36	Trigger derecha	
42	IR izquierda	
A1	Sharp	
44	IR derecha	
A1	Sharp	
51	LED izquierdo	
53	LED centro	
52	LED derecho	

Finalmente, el sistema de limpieza garantiza que el vidrio quede impecable tras cada paso del robot. Para esto, cuenta con una escobilla de goma, fabricada en caucho de alta resistencia, que elimina la suciedad y evita marcas en la superficie. La escobilla, con una longitud de 20 - 50 cm, es flexible y resistente a productos químicos. Además, el robot incorpora un contenedor de fluido limpiador, construido en polietileno de alta densidad (HDPE), con una capacidad de 100 - 500 ml, diseñado para resistir solventes y distribuir el líquido de manera uniforme.

En conjunto, estos tres sistemas permiten que el prototipo funcione de manera autónoma y eficiente. Al encenderse, el sistema de succión se activa, asegurando la adherencia del robot a la superficie. Luego, el sistema de desplazamiento inicia el

movimiento, guiado por los sensores ultrasónicos e infrarrojos para evitar obstáculos y caídas. Mientras tanto, el sistema de limpieza distribuye el fluido y la escobilla de goma elimina la suciedad en cada recorrido. Si el robot detecta una colisión, el sensor de impacto activa una respuesta inmediata para retroceder y reajustar su trayectoria.

Gracias a esta integración de tecnología, el prototipo logra desplazarse de forma autónoma, evitar accidentes y ofrecer una limpieza eficiente en vidrios y otras superficies verticales. Este diseño no solo demuestra la viabilidad de un limpiador automático inteligente, sino que también sienta las bases para futuras mejoras en autonomía, potencia y eficiencia.

3.3. Algoritmo de control para el sistema de desplazamiento, sistema de succión y sistema de limpieza.

Para que el limpiador de vidrios automático funcione de manera eficiente, es fundamental contar con un algoritmo de control bien estructurado que coordine los distintos sistemas involucrados en su operación. El desplazamiento, la succión y la limpieza deben trabajar en conjunto para garantizar un movimiento estable, una adherencia segura a la superficie y un proceso de limpieza óptimo.

El sistema de desplazamiento permite que el robot se mueva sobre la superficie del vidrio, esquivando obstáculos y ajustando su trayectoria según la información obtenida por los sensores de colisión y ultrasonidos. El sistema de succión se encarga de mantener el limpiador adherido a la superficie de manera segura, controlando la presión generada por el vacío. Finalmente, el sistema de limpieza combina la pulverización del fluido limpiador con el movimiento de las escobillas de goma para eliminar la suciedad de manera efectiva.

Para lograr una interacción fluida entre estos sistemas, se ha diseñado un diagrama de flujo que detalla el comportamiento del limpiador en cada etapa de su funcionamiento (fig. 7).

Algoritmo de control:

Inicialización del sistema:

- Activar el Arduino Mega.
- Inicializar los sensores ultrasónicos (HC-SR04), sensores infrarrojos (IR), sensores de colisión y el controlador de motores (L298N).
- Encender el generador de vacío para adherir el robot al vidrio.

Verificación de succión:

- Si la succión es insuficiente, emita una alerta y detenga el sistema.
- Si la succión es adecuada, proceda con el movimiento.
- Iniciar desplazamiento:
- Active los motores DC para avanzar en línea recta.
- Detección de obstáculos:
- Leer los sensores ultrasónicos para detectar objetos cercanos.
- Si un obstáculo se encuentra a menos de 10 cm, detenga el movimiento y gire a la derecha o izquierda.
- Si no hay obstáculos, continúe avanzando.
- Detección de colisión:
- Si un sensor de colisión detecta un impacto, retroceda y cambie de dirección.
- Detección de bordes o caídas:
- Leer los sensores infrarrojos (Cliff Sensors).
- Si no detecta superficie, detenga el movimiento y gire en dirección segura.

Activar sistema de limpieza:

- Dispensar fluido limpiador desde el contenedor de fluido.
- Active la escobilla de goma para eliminar la suciedad.
- Repetir ciclo de limpieza:
- Continúe el desplazamiento y la limpieza hasta completar el área definida.

- Si la batería está baja, active una alerta y detenga el sistema.

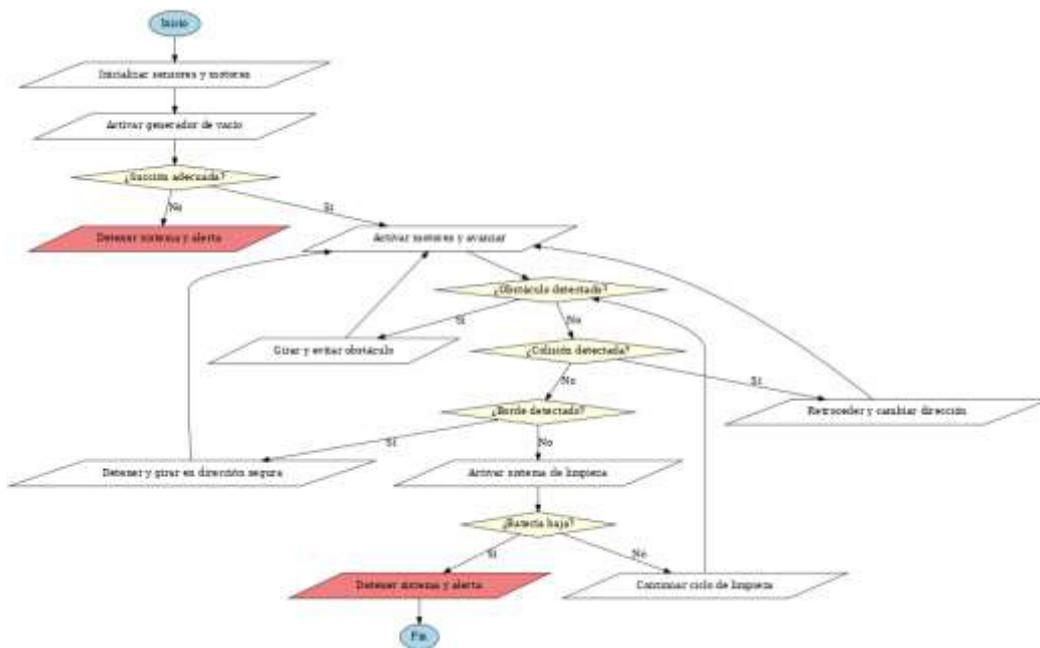


Fig. 7 Diagrama de flujo del algoritmo de control

El diagrama de flujo representa visualmente el proceso de control del limpiador de vidrios, asegurando que cada acción se ejecute en el momento adecuado.

Inicio y verificación de sensores

- El sistema se enciende y realiza una autoevaluación de los sensores de colisión, ultrasonidos y batería.
- Si se detecta un nivel bajo de batería, el dispositivo se apaga para evitar fallos durante la limpieza.

Activación del sistema de succión

- Se enciende el generador de vacío para adherir el robot a la superficie.
- Si la adherencia es insuficiente, se genera una alerta y se detiene el sistema.

Desplazamiento y detección de obstáculos

- Se activan los motores de engranajes y el robot comienza a moverse.
- Los sensores de ultrasonidos analizan constantemente el entorno para detectar obstáculos o bordes peligrosos.
- En caso de detectar un obstáculo, el sistema ajusta la trayectoria para evitar colisiones.

- Si ocurre una colisión, el robot retrocede y elige una nueva dirección.

Proceso de limpieza

- Se activa la pulverización del fluido limpiador.
- Las escobillas de goma se mueven de manera sincronizada para eliminar la suciedad.
- Si la superficie aún está sucia, el ciclo de limpieza se repite en la misma zona.

Finalización del proceso

- Cuando el robot alcanza los límites de la superficie o completa la limpieza, los motores se detiene.
- Se apaga el sistema de succión y el dispositivo notifica que la limpieza ha finalizado.

Este esquema garantiza un funcionamiento autónomo y eficiente del limpiador de vidrios, optimizando su rendimiento y prolongando su vida útil.

3.4. Simulación de respuesta de sensado y actuación de los componentes electrónicos.

En esta sección se simula la respuesta de los sensores utilizados en el sistema y su interacción con los componentes electrónicos, con el objetivo de comprender su rendimiento en un entorno real. Los sensores empleados para la detección de obstáculos, tales como el sensor de colisión, el sensor infrarrojo de proximidad, el sensor infrarrojo de Sharp y el sensor de ultrasonido HC-SR04, envían señales digitales o analógicas al Arduino para que actúe según las condiciones detectadas.

El sensor de colisión funciona con señales digitales, donde la ausencia de contacto genera una señal de valor 0, y el contacto con un objeto genera una señal de valor 1. Esto se visualiza en la figura 8, donde se muestra el Serial Plotter del software Arduino.

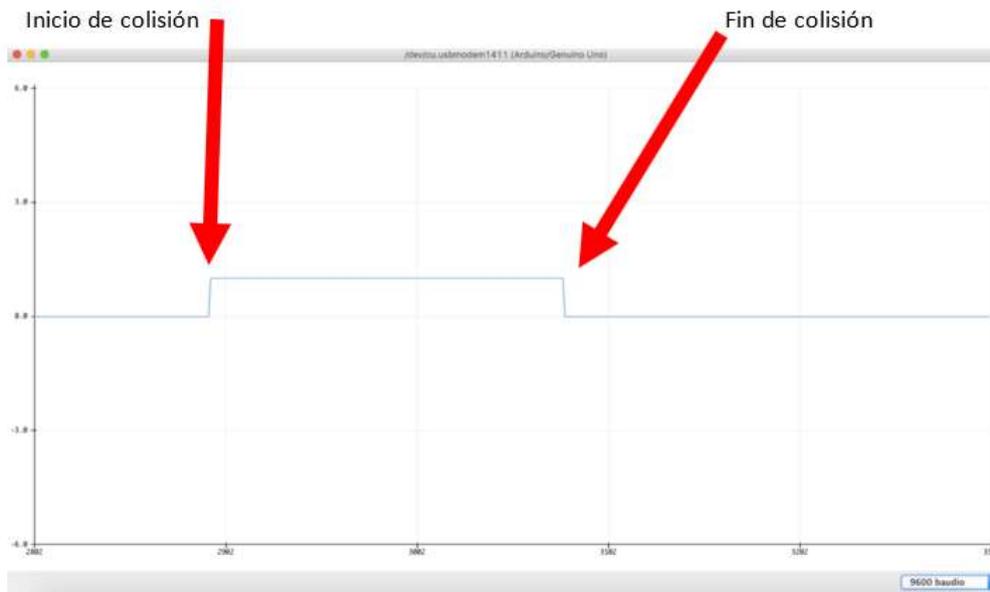


Fig. 8 Gráfico de la función Serial Plotter para el sensor de colisión

Sensor de infrarrojos de proximidad

Este sensor envía una señal digital al Arduino dependiendo de la presencia o ausencia de un obstáculo dentro de su alcance. Si no detecta nada, la señal será 1, y si detecta un obstáculo, la señal cambiará a 0. Esta interacción también se representa en el Serial Plotter (fig.8), donde se observa el cambio entre los dos estados: "sin obstáculo dentro del rango" y "obstáculo dentro del rango".

Sensor infrarrojo de Sharp

El sensor de Sharp se distingue por enviar una señal analógica, lo que genera ciertos ruidos que afectan la precisión de la medición. En la fig. 10, se puede observar cómo la señal presenta fluctuaciones que, si bien no afecta la detección de escalones o desniveles, limitan su efectividad para la detección de obstáculos en rangos mayores. Este sensor, además, es más caro que los sensores ultrasónicos, lo que justifica su descarga para detección de obstáculos laterales o delanteros.



Fig. 9 Gráfico de la función Serial Plotter para el sensor de proximidad

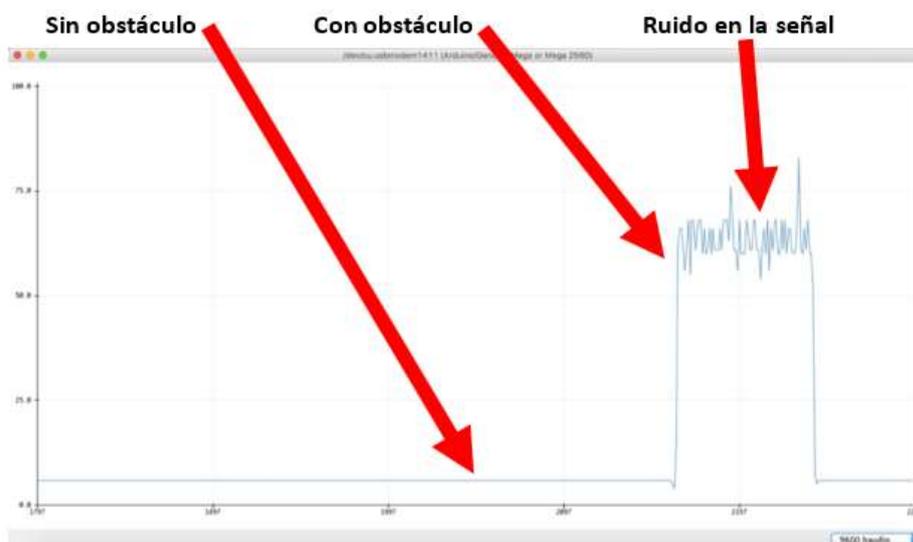


Fig. 10 Gráfico de la función Serial Plotter para el sensor Sharp

Sensor de ultrasonidos HC-SR04

El sensor de ultrasonido, aunque también envía una señal digital, muestra algo de ruido en su salida, como se aprecia en la fig. 11. Esto puede hacer que las mediciones no sean tan puras, pero aún así es funcional para detectar obstáculos. La señal oscila entre la ausencia de obstáculos, el ruido y la presencia de un obstáculo.



Fig. 11 Gráfico de la función Serial Plotter para el sensor Sharp.

Se ha realizado un análisis experimental de las distancias máximas de detección de cada sensor, comparando los valores obtenidos con los datos oficiales proporcionados por las hojas de datos de los componentes. A partir de estos resultados, se calculó el error relativo para cada sensor, evidenciando las diferencias en rendimiento.

Tabla 3 Comparativa entre las distancias máximas de detección de obstáculos y el costo de cada sensor.

Sensor	Valor medido (cm)	Valor oficial (cm)	Error relativo (%)	Precio (\$)
Infrarrojos de proximidad	4	30	86.67	6.154
Infrarrojos nítidos	40	80	50	10.115
Ultrasonido HC-SR04	30	400	92.5	1.513

El análisis demuestra que todos los sensores presentan un alto error relativo en sus mediciones de distancia, lo que hace que no sean la opción más eficiente para rangos de detección mayores. El sensor Sharp es el que tiene un rendimiento relativamente mejor, pero su costo es más alto en comparación con los otros. Sin embargo, si se requiere una detección de obstáculos a distancias más cortas, todos los sensores ofrecen resultados satisfactorios en condiciones experimentales.

Este comportamiento puede estar relacionado con variables ambientales, ajustes incorrectos o características propias de cada sensor. Es fundamental tener en cuenta estos detalles al seleccionar los componentes adecuados para el diseño de prototipos, especialmente si se emplean sensores de tipo open source, cuyo comportamiento puede variar dependiendo de las circunstancias

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Discusión

La investigación ha permitido resultados relevantes en relación con el diseño y la simulación de un sistema electromecánico basado en sensores para desplazamiento, succión y limpieza. El análisis del prototipo preliminar muestra que, en comparación con sistemas similares, el diseño propuesto es eficaz en términos de costos y eficiencia operativa. Los componentes seleccionados, como los motores y actuadores, permiten un control adecuado de las funciones mecánicas esenciales del sistema, aunque la eficiencia energética podría mejorarse en futuras iteraciones.

El sistema electrónico, compuesto por sensores como el de colisión, infrarrojos de proximidad, sensor de ultrasonido y sensor Sharp, ha mostrado un rendimiento variable en cuanto a la precisión de sus lecturas. El sensor de infrarrojos de proximidad ha presentado un desempeño aceptable en cuanto a la detección de obstáculos dentro de su rango de alcance. Sin embargo, los sensores de ultrasonido y de colisión han mostrado cierto ruido en las señales, lo que ha generado fluctuaciones en la precisión de las mediciones. Este comportamiento es esperado, ya que los sensores de este tipo son sensibles a factores ambientales y a la variabilidad de los objetos detectados, lo que puede afectar la exactitud de las mediciones.

Respecto al algoritmo de control implementado, los resultados obtenidos indican que el sistema es capaz de gestionar de manera eficiente las tres funciones principales: desplazamiento, succión y limpieza. El control se ajusta de acuerdo con las señales de los sensores, y la toma de decisiones se realiza de forma rápida y efectiva, aunque con algunas limitaciones en términos de adaptabilidad ante condiciones no previstas. Esta característica es común en sistemas robóticos autónomos de bajo costo, que aún requieren ajustes finos para adaptarse a diferentes entornos.

La simulación de la respuesta de los sensores ha permitido validar las distorsiones en las señales de los mismos. El sensor Sharp, aunque más preciso que otros, presenta un costo elevado, lo que limita su uso en aplicaciones que no requieren alta precisión. El sensor de ultrasonido, aunque de bajo costo, mostró un comportamiento más ruidoso, lo que afectó la confiabilidad de las mediciones en distancias más largas

Conclusiones:

- El prototipo preliminar ha mostrado ser funcional y eficiente, logrando cumplir con los requisitos básicos de desplazamiento y operatividad del sistema. La selección de componentes adecuados permitió desarrollar un prototipo que, aunque básico, cumple con las funciones esenciales para la experimentación y prueba de los sistemas de succión y limpieza. A pesar de los buenos resultados, la autonomía y la eficiencia del sistema podrían mejorar con una mejor selección de actuadores y fuentes de energía.
- El sistema electrónico, que integra los sensores de colisión, infrarrojos de proximidad, ultrasonido y Sharp, mostró un rendimiento variable. Mientras que los sensores de infrarrojos de proximidad y de colisión ofrecieron resultados confiables para distancias cercanas, el sensor de ultrasonido y el Sharp experimentaron fluctuaciones en sus señales. Esto resalta la importancia de considerar las características específicas de cada sensor y las condiciones operativas del sistema al momento de diseñar sistemas robóticos autónomos.
- El algoritmo desarrollado para el control de las funciones de desplazamiento, succión y limpieza demostró ser eficaz para gestionar los procesos en función de las señales de los sensores. Los resultados indican que el sistema es capaz de operar de manera autónoma en condiciones normales, aunque surgieron algunas limitaciones cuando el sistema tuvo que adaptarse a obstáculos no previstos o situaciones imprevistas. El

sistema puede beneficiarse de una mayor flexibilidad en su programación para enfrentar escenarios más complejos.

- La simulación de la respuesta de los sensores permitió obtener un panorama claro sobre el comportamiento de cada uno de ellos en diferentes condiciones de trabajo. El sensor de infrarrojos de proximidad mostró ser confiable para detecciones a corto alcance, mientras que el sensor de ultrasonido presentó algunas inconsistencias en sus lecturas debido al ruido en la señal. El sensor Sharp, aunque más preciso, presentó un error relativo más bajo que otros sensores, pero su costo más elevado lo hace menos viable para aplicaciones de bajo presupuesto.

Referencias

- [1] FACADES, «Building facade: maintenance and cleaning,» [En línea]. Available: <https://www.masterbuilder.co.in/building-facade-maintenance-and-cleaning/>. [Último acceso: diciembre 2024].
- [2] V. Prabakaran, M. Elara, T. Pathmakumar y S. Nansai, «Floor cleaning robot with reconfigurable mechanism,» *Autom. Constr.*, pp. 155-165, 2018.
- [3] T. Kim, K. Seo, J. Kim y H. Kim, «Adaptive impedance control of a cleaning unit for a novel wall-climbing mobile robotic platform (rope ride),» *2014 IEEE/American Society of Mechanical Engineers International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, Institute of Electrical and Electronics Engineers (2014)*, pp. 994-999, 2014.
- [4] T. Tomiyama, L. R. Garcã-A, A. Krlin y G. Taykaldirianian, «Systems and conceptual design of a train cab front cleaning robot,» *Procedia College International pour la Recherche en Productique* 59, p. 61–66, 2017.
- [5] Q. Zhou y X. Li, «Experimental comparison of drag-wiper and roller-wiper glass-cleaning robots,» *Ind. Robot.*, pp. 409-420, 2016.
- [6] M. Henrey, A. Ahmed, P. Boscariol, L. Shannon y C. Menon, «Abigaille-iii: a versatile, bioinspired hexapod for scaling smooth vertical surfaces,» *J. Bionic Eng.*, pp. 1-17, 2014.
- [7] T. Kim, J. Kim, K. Seo, H. Kim, G. Lee, J. Kim y H. Kim, «Design and control of a cleaning unit for a novel wall-climbing robot,» *Applied Mechanics and Materials*, vol. 541, pp. 1092-1096, 2014.
- [8] D. Ge, T. Matsuno, Y. Sun, C. Ren, Y. Tang y S. Ma, «Quantitative study on the attachment and detachment of a passive suction cup,» *Vacuum*, pp. 13-20, 2015.
- [9] S. Nansai, M. Elara, T. Tun, P. Veerajagadheswar y T. Pathmakumar, «A novel nested reconfigurable approach for a glass façade cleaning robot,» *Inventions*, p. 18, 2017.
- [10] A. Nishi, «A biped walking robot capable of moving on a vertical wall,» *Mechatronics*, pp. 543-554, 1992.
- [11] T. Yanagida, R. E. Mohan, T. Pathmakumar, K. Elangovan y M. Iwase, «Design and implementation of a shape shifting rolling-crawling-wall-climbing robot,» *Appl. Sci.*, p. 342, 2017.
- [12] A. Nagakubo y S. Hirose, «Walking and running of the quadruped wall-climbing robot,» *Proceedings., 1994 Institute of Electrical and Electronics Engineers, International Conference on Robotics and Automation, Institute of Electrical and Electronics Engineers*, pp. 1005-1012, 1994.
- [13] I.-M. Chen y S. Yeo, «Locomotion of a two-dimensional walking-climbing robot using a closed-loop mechanism: from gait generation to navigation,» *Int. J. Robot. Res.*, pp. 21-40, 2003.

- [14] B. L. Luk, L. K. P. Liu y A. A. Collie, «Climbing service robots for improving safety in building maintenance industry, in: M. K. Habib,» *Bioinspiration and Robotics*, *IntechOpen, Rijeka*, 2007.
- [15] J. Zhu, D. Sun y S.-K. Tso, «Development of a tracked climbing robot,» *J. Intell. Robot. Syst.*, pp. 427-443, 2002.
- [16] H. Kim, D. Kim, H. Yang, K. Lee, K. Seo, D. Chang y J. Kim, «Development of a wall-climbing robot using a tracked wheel mechanism,» *J. Mech. Sci. Technol.*, pp. 1490-1498, 2008.
- [17] H. X. Zhang, W. Wang, J. W. Zhang y G. H. Zong, «Real-time control realization of a new pneumatic climbing robot,» *IEEE Xplore*, pp. 691-696, 2008.
- [18] H. Zhang, J. Zhang, W. Wang, R. Liu y G. Zong, «A series of pneumatic glass-wall cleaning robots for high-rise buildings,» *Emerald insight*, pp. 150-160, 2007.
- [19] G. Rosa, M. Messina, G. Muscato y R. Sinatra, «A low-cost lightweight climbing robot for the inspection of vertical surfaces,» *Mechatronics*, pp. 71-96, 2002.
- [20] C. Menon, M. Murphy y M. Sitti, «Gecko inspired surface climbing robots,» *IEEE/International Conference on Robotics and Biomimetics, Institute of Electrical and Electronics Engineers*, pp. 431-436, 2004.
- [21] A. Nishi, «A wall climbing robot using propulsive force of propeller,» *Robots in Unstructured Environments*, Vols. %1 de %2320-325, p. 1991, 91., Fifth International Conference on Advanced Robotics, Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- [22] D. Longo y G. Muscato, «Scid-a non-actuated robot for walls exploration,» *Proceedings. 2001 IEEE/American Society of Mechanical Engineers International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*, pp. 874-879, 2001.
- [23] Z. Xu y P. Ma, «A wall-climbing robot for labelling scale of oil tank's volume,» *Robotica*, pp. 209-212, 2002.
- [24] B. Luk, K. Liu y D. C. S. C. A.A. Collie, «Tele-operated climbing and mobile service robots for remote inspection and maintenance in nuclear industry,» *Ind. Robot.*, pp. 194-204, 2006.
- [25] A. Sintov, T. Avramovich y A. Shapiro, «Design and motion planning of an autonomous climbing robot with claws,» *Robot. Auton. Syst.*, pp. 1008-1019, 2011.
- [26] C. Balaguer, A. Giménez, J. Pastor, V. Padrón y M. Abderrahim, «A climbing autonomous robot for inspection applications in 3d complex environments,» *Robotica*, pp. 287-297, 2000.
- [27] D. Longo y G. Muscato, «The alicia3 climbing robot: a three-module robot for automatic wall inspection,» *Institute of Electrical and Electronics Engineers/ Robotics Automation Magazine*, , pp. 42-50, 2006.
- [28] W. Fischer, F. Tâche y R. Siegwart, «Inspection system for very thin and fragile surfaces, based on a pair of wall climbing robots with magnetic wheels,» *IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems (2007)*, 1216-1221.

- [29] A. Gimenez, M. Abderrahim, V. Padron y C. Balaguer, «Adaptive control strategy of climbing robot for inspection applications in construction industry,» *International Federation Of Automatic Control Proceedings*, pp. 19-24, 2002.
- [30] Y. Yoshida y S. Ma, «A Wall-Climbing Robot without any Active Suction Mechanisms, in: 2011 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics,» *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, p. 2014–2019, 2011.
- [31] J. Yong, W. Hongguang, F. Lijin y Z. Mingyang, «A novel approach to fault detection and identification in suction foot control of a climbing robot,» *International Conference on Intelligent Robots and Systems, Institute of Electrical and Electronics Engineers* , pp. International Conference on Intelligent Robots and Systems, Institute of Electrical and Electronics Engineers , 2006.
- [32] S. Riisgard y M. Blas, «SLAM for Dummies: A tutorial approach to simultaneous location and mapping,» 2005.
- [33] Andorobots, «Sistema mecatronico de robot para limpieza,» 2021. [En línea]. Available: <https://andorobots.com/blog/como-funciona-un-robot-aspirador-sistema-de-limpieza>.
- [34] J. L. Jones, N. E. Mack, D. M. Nugent y P. E. Sandin, «Robot autónomo para limpieza de suelos». EE.UU. Patente US6883201B2, 26 abril 2005.
- [35] T. Kurt, «Sensores Robot,» de *Hacking Roomba*.
- [36] Amazon, «Cecotec Conga Excellence 990,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.amazon.es/aspirador-Excellence-Programable-limpieza-Silencioso/dp/B01MUGXRT9>.
- [37] Amazon, «iLife A6,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.amazon.es/ILIFE-Aspirador-silencioso-limpieza-Alfombras/dp/B06WD32HYR>.
- [38] Amazon, «LG VSR9640PS - Hombot Turbo Serie 12,» [En línea]. Available: <https://www.amazon.es/LG-VSR9640PS-aspirador-vigilancia-metalizado/dp/B01M9FZCO5>.
- [39] B. D. connected, «Neorobotics,» 2024. [En línea]. Available: <https://neorobotics.com/es/robot-vacuum/botvac-connected-series/botvac-d7-connected>.
- [40] Neorobotics, «Botvac D7 connected,» 2024. [En línea]. Available: <https://neorobotics.com/es/robot-vacuum/botvac-connected-series/botvac-d7-connected>.
- [41] Amazon, «iRobot Roomba 980,» [En línea]. Available: <https://www.amazon.es/iRobot-Roomba-980-aspiradora-robotizada/dp/B017WD5KZM>.

ANEXOS

Anexo 1: Cuestionario sobre el Desempeño de Sensores en Sistemas Electromecánicos

Objetivo:

Este cuestionario tiene como objetivo recopilar información sobre la precisión, confiabilidad y rendimiento de los sensores empleados en el sistema electromecánico propuesto para las funciones de desplazamiento, succión y limpieza. Los resultados permitirán identificar áreas de mejora en el diseño y la integración de los sensores en el sistema.

Instrucciones:

A continuación, encontrará una serie de preguntas relacionadas con los sensores utilizados en el sistema. Por favor, conteste con la mayor sinceridad posible, calculando en las pruebas realizadas y las observaciones previas. Cada pregunta tiene opciones de respuesta de acuerdo con el nivel de acuerdo o desacuerdo con las afirmaciones. Si no está seguro de alguna respuesta, marque la opción que más se ajuste a su experiencia.

1. ¿Cómo calificaría la precisión del sensor de colisión?

- Muy preciso
- Precisa
- Poco preciso
- No es necesario

2. ¿El sensor de infrarrojos de proximidad ha presentado fluctuaciones en las lecturas?

- Siempre
- Frecuentemente
- Raramente
- Nunca

3. ¿Considera que el sensor de ultrasonido es adecuado para detectar obstáculos a largas distancias?

- Muy adecuado
- Adecuado
- Poco adecuado

- Nada adecuado
4. En términos de confiabilidad, ¿cómo calificaría el rendimiento del sensor Sharp?
- Muy confiable
 - Fiable
 - Poco confiable
 - Nada fiable
5. ¿Los sensores seleccionados han funcionado de manera efectiva en condiciones ambientales variables (luz, temperatura, humedad)?
- Siempre
 - En su mayoría
 - A veces
 - Nunca
6. ¿Considera que el costo de los sensores utilizados es adecuado en relación con su desempeño?
- Muy adecuado
 - Adecuado
 - Poco adecuado
 - Nada adecuado
7. ¿Cree que los sensores empleados en este sistema pueden ser mejorados?
- Sí, significativamente
 - Sí, un poco
 - No, están bien
 - No, no es necesario

Anexo 2: Entrevista Semi-estructurada sobre la Eficiencia del Algoritmo de Control en el Sistema Electromecánico

Objetivo:

Este instrumento tiene como objetivo obtener una comprensión cualitativa sobre la efectividad del algoritmo de control para gestionar las funciones de desplazamiento, succión y limpieza. Se busca evaluar la capacidad del algoritmo para responder de manera eficiente y precisa a las señales de los sensores y los posibles desafíos que se presentan durante la operación del sistema.

Instrucciones:

A continuación, se presentan una serie de preguntas abiertas. El objetivo es obtener opiniones detalladas sobre el desempeño del algoritmo de control desde su experiencia con el sistema. Responda con la mayor profundidad posible. No hay respuestas correctas o incorrectas, sino que se busca obtener sus observaciones sobre el funcionamiento del algoritmo.

-
1. ¿Cómo calificaría el desempeño general del algoritmo de control para las funciones de desplazamiento y succión? ¿Qué aspectos cree que podrían mejorarse?
 2. ¿En qué situaciones el algoritmo ha mostrado limitaciones en la toma de decisiones (por ejemplo, durante el desplazamiento entre obstáculos o en áreas con alta variabilidad)?
 3. En su experiencia, ¿el algoritmo responde de manera adecuada a los cambios en el entorno (como obstáculos inesperados o cambios en la configuración)? Si no es así, ¿qué tipo de ajustes serán necesarios?
 4. ¿Cómo evaluar la capacidad del algoritmo para optimizar la tarea de limpieza? ¿Hay áreas en las que el algoritmo podría mejorar para cubrir más efectivamente el área de trabajo?
 5. ¿Cree que el algoritmo de control podría adaptarse mejor a diferentes condiciones ambientales o tipos de obstáculos? Si es así, ¿qué modificaciones sugeriría?
 6. ¿Existen casos en los que el algoritmo de control haya fallado o no haya funcionado correctamente? ¿Cómo se solucionaron esos problemas?
 7. ¿Qué tipo de mejoras técnicas considera necesarias para que el algoritmo de control sea más eficiente en el sistema electromecánico?

Anexo 3: Código de programación

```
int EchoR =18;
int TrigR =36;
int EchoC = 14;
int TrigC =15;
int EchoL = 17;
int TrigL =16;
int in1 = 7;
int in2 = 8;
int in3 = 9;
int in4 = 10;
int ENI = 5;
int END= 6;
int ABS = 200;
int collisionPinL=3;
int collisionPinC=2;
int collisionPinR=19;
int IRPinL=42;
int IRPinR=44;
int rightDistance = 0, leftDistance = 0, centerDistance = 0 ;

void mForward(){ //Funcion para que el robot se desplace hacia delante
    analogWrite(ENI,ABS);
    analogWrite(END,ABS);
    digitalWrite(in1,HIGH);
    digitalWrite(in2,LOW);
    digitalWrite(in3,HIGH);
    digitalWrite(in4,LOW);
    Serial.println("go forward!");
}

void mBackward(){//Funcion para que el robot se desplace hacia atras
    analogWrite(ENI,ABS);
    analogWrite(END,ABS);
    digitalWrite(in1,LOW);
    digitalWrite(in2,HIGH);
    digitalWrite(in3,LOW);
    digitalWrite(in4,HIGH);
    Serial.println("go backward!");
}
```

```

void mChoque(){//Funcion para que el robot retroceda en caso de choque
  analogWrite(ENI,ABS);
  analogWrite(END,ABS);
  digitalWrite(in1,LOW);
  digitalWrite(in2,HIGH);
  digitalWrite(in3,LOW);
  digitalWrite(in4,LOW);
  Serial.println("Choque!");
}

void mLeft(){//Funcion para que el robot se desplace hacia la izquierda
  analogWrite(ENI,ABS);
  analogWrite(END,ABS);
  digitalWrite(in1,LOW);
  digitalWrite(in2,HIGH);
  digitalWrite(in3,HIGH);
  digitalWrite(in4,LOW);
  Serial.println("go left!");
}

void mRight(){//Funcion para que el robot se desplace hacia la derecha
  analogWrite(ENI,ABS);
  analogWrite(END,ABS);
  digitalWrite(in1,HIGH);
  digitalWrite(in2,LOW);
  digitalWrite(in3,LOW);
  digitalWrite(in4,HIGH);
  Serial.println("go right!");
}

void mStop()//Funcion para que el robot pare
{
  digitalWrite(ENI,LOW);
  digitalWrite(END,LOW);
  Serial.println("Stop!");
}

```

```

int distanceTest(int trigPin,int echoPin)
//Función para medir la distancia con ultrasonidos
{
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(trigPin, HIGH);
  delayMicroseconds(20);
  digitalWrite(trigPin, LOW);

  float Fdistance = pulseIn(echoPin, HIGH);
  int distance= Fdistance/58;
  return distance;
}

void golpe() {
// Choque o desnivel
  mChoque();
  delay(500);
  Serial.println("      Interrupción      ");
}

void setup()
{
  pinMode(in1,OUTPUT);
  pinMode(in2,OUTPUT);
  pinMode(in3,OUTPUT);
  pinMode(in4,OUTPUT);
  pinMode(ENI,OUTPUT);
  pinMode(END,OUTPUT);
  pinMode(EchoL, INPUT);
  pinMode(TrigL, OUTPUT);
  pinMode(EchoC, INPUT);
  pinMode(TrigC, OUTPUT);
  pinMode(EchoR, INPUT);
  pinMode(TrigR, OUTPUT);
  pinMode(TrigR, OUTPUT);
  pinMode(IRPinR,INPUT);
  pinMode(IRPinL,INPUT);
  Serial.begin(9600);
  pinMode(collisionPinL,INPUT_PULLUP);
  pinMode(collisionPinC,INPUT_PULLUP);
  pinMode(collisionPinR,INPUT_PULLUP);
  attachInterrupt(collisionPinL,golpe, RISING); // Pin de interrupción
  attachInterrupt(collisionPinR,golpe, RISING);
  attachInterrupt(collisionPinC,golpe, RISING);
}

```

```

void loop()
{
// Se leen los sensores de colision y el Sharp
  int obstacleL=digitalRead(collisionPinL);
  int obstacleC=digitalRead(collisionPinC);
  int obstacleR=digitalRead(collisionPinR);
  float volts=analogRead(1)*0.0048828125;
  int height = 13*pow(volts, -1);
  Serial.println(" HEIGHT          ");
  Serial.println(height);

  if ((obstacleL==0)&&(obstacleC==0)&&(obstacleR==0)&&(height<=6)){
  // Si los sensores de colision y el Sharp no detectan nada el robot
lee la distancia del US central
    centerDistance=distanceTest(TrigC,EchoC);
    Serial.println(" Center distance          ");
    Serial.println(centerDistance);

    if (centerDistance<=20){
  // Si la distancia es menor de 20, el robot lee la distancia de
los US izquierda y derecha y de los dos IR de proximidad
      mStop();
      delay(500);
      leftDistance=distanceTest(TrigL,EchoL);
      rightDistance=distanceTest(TrigR,EchoR);
      Serial.println(" Right distance          ");
      Serial.println(rightDistance);
      Serial.println(" Left distance          ");
      Serial.println(leftDistance);
      int obstacleIRR=digitalRead(IRPinR);
      int obstacleIRL=digitalRead(IRPinL);
      Serial.println(" obstacle IR Right          ");
      Serial.println(obstacleIRR);
      Serial.println(" obstacle IR Left          ");
      Serial.println(obstacleIRL);

      if ((obstacleIRR==LOW)|| (obstacleIRL==LOW)) {
  //Si uno de los IR está detectando un obstáculo, el robot
retrocede
        mBackward();
        delay(360*4);
      }
    }
  }
}

```

```

        }else if ((leftDistance>rightDistance)){
            // Si la distancia hasta un obstáculo es mayor a la
            izquierda se va a la izquierda
            mLeft();
            delay(360);

            }else if((rightDistance>leftDistance)){
                // Si la distancia hasta un obstáculo es mayor a la
                derecha se va a la derecha
                mRight();
                delay(360);
            }

        } else {
            // Si el sensor de US central no detecta nada a menos de 20,
            el robot avanza de frente
            mForward();
        }

    } else{
        // Si uno de los sensores de colision o el Sharp detectan algo
        golpe();
    }
}

```

HARNOL MICHEL CHILCON GUERRERO

DISEÑO DE CONTROL AUTOMATIZADO PARA UN SISTEMA MECÁNICO DE LIMPIEZA DE FACHADAS DE VIDRIO

 My Files

 My Files

 Universidad Señor de Sipan

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::26396:429613950

Fecha de entrega

12 feb 2025, 4:32 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

12 feb 2025, 4:54 p.m. GMT-5

Nombre de archivo

CHILCON GUERRERO HARNOL_TRABAJO DE INVESTIGACIÓN_TURNITIN.docx

Tamaño de archivo

1.0 MB

34 Páginas

6,867 Palabras

36,791 Caracteres

12% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Fuentes principales

- 12%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 8%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



**ACTA DE CONTROL DE REVISIÓN DE
SIMILITUD DE LA INVESTIGACIÓN**

Código:	F3.PP2-PR.02
Versión:	02
Fecha:	18/04/2024
Hoja:	1 de 1

Yo, **Silvia Yvone Gastiaturú Morales**, Coordinadora de Investigación del Programa de Estudios de Ingeniería Mecánica Eléctrica, he realizado el control de originalidad de la investigación, el mismo que está dentro de los porcentajes establecidos para el nivel de Pregrado, según la Directiva de similitud vigente en USS; además certifico que la versión que hace entrega es la versión final del Trabajo de Investigación titulado: **DISEÑO DE CONTROL AUTOMATIZADO PARA UN SISTEMA MECÁNICO DE LIMPIEZA DE FACHADAS DE VIDRIO** elaborado por el (lo) egresado(s):

CHILCON GUERRERO HARNOL MICHEL

Se deja constancia que la investigación antes indicada tiene un índice de similitud del **12%**, verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el software de similitud TURNITIN.

Por lo que se concluye que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con lo establecido en la Directiva sobre índice de similitud de los productos académicos y de investigación vigente.

Pimentel, 12 de febrero de 2025

Dra. Gastiaturú Morales Silvia Yvone

Coordinador de Investigación

DNI N° 16481433