



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA

TESIS

Desarrollo de prototipo de vehículo sube escaleras

Para obtener el título de Licenciado en Ingeniería en Electrónica

PRESENTA

Pérez Hernández David Sama

Director (a)

Dr. Kristian Freyri Maya Gress

Codirector (a)

M. En C. Víctor Eduardo Pedraza Vera

Comité tutorial

Dr. Omar Samperio Vázquez

M. En C. Juan Carlos González Islas

Pachuca de Soto, Hgo., Mex., 11 de Mayo 2026



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería

School of Engineering and Basic Sciences

Dirección

Office of the Director

Mineral de la Reforma, Hgo., a 12 de junio de 2026

Número de control: ICBI-D/1108/2026

Asunto: Autorización de impresión.

MTRA. OJUKY DEL ROCÍO ISLAS MALDONADO DIRECTORA DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR DE LA UAEH

Con Título Quinto, Capítulo II, Capítulo V, Artículo 51 Fracción IX del Estatuto General de nuestra Institución, por este medio, le comunico que el Jurado asignado al egresado de la Licenciatura en Ingeniería en Electrónica **David Sama Pérez Hernández**, quien presenta el trabajo de titulación "**Desarrollo de prototipo de vehículo sube escaleras**", ha decidido, después de revisar fundamento en lo dispuesto en el Título Tercero, Capítulo I, Artículo 18 Fracción IV; dicho trabajo en la reunión de sinodales, **autorizar la impresión del mismo**, una vez realizadas las correcciones acordadas.

A continuación, firman de conformidad los integrantes del Jurado:

Presidente: Mtro. Omar Samperio Vázquez

Secretario: Mtro. Victor Eduardo Pedraza Vera

Vocal: Dr. Kristian Freyri Maya Gress

Suplente: Dr. Juan Carlos González Islas

Sin otro particular por el momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente
"Amor, Orden y Progreso"

Dr. Gabriel Vergara Rodríguez
Director del ICBI



GVR/MMM

"Amor, Orden y Progreso"



Ciudad del Conocimiento, Carretera Pachuca-Tulancingo
Km. 4.5 Colonia Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo,
México. C.P 42184

Teléfono: 52 (771) 71 720 00 Ext. 40001

direccion_icbi@uaeh.edu.mx, vergarar@uaeh.edu.mx

uaeh.edu.mx

Agradecimientos

A **Dios**, por ser mi guía, darme la fortaleza necesaria para superar cada obstáculo y otorgarme la sabiduría y constancia para culminar esta importante etapa de mi vida profesional.

A **mi familia**, por su amor incondicional, su paciencia y su apoyo económico y moral a lo largo de toda mi carrera. Gracias por creer en mí en los momentos de incertidumbre y por celebrar cada uno de mis logros como propios; este título es tan suyo como mío.

A **mis maestros y asesores**, por compartir sus conocimientos con tanta dedicación y por guiarme en el desarrollo de este proyecto técnico. Su exigencia y rigor académico no solo hicieron posible la realización de este prototipo, sino que me formaron como un profesional ético y preparado para el entorno de la ingeniería.

A **mis compañeros y amigos**, con quienes compartí largas jornadas de estudio, desvelos en el laboratorio y debates sobre programación y diseño. Gracias por su apoyo mutuo, por el trabajo en equipo y por hacer de los retos universitarios una experiencia de vida inolvidable.

Índice

I	Agradecimientos y dedicatoria	2
II	Índice	3
III	Lista de figuras	5
IV	Resumen	8
V	Abstract	9
1	Capítulo 1: Introduccion	10
1.1	Antecedentes	10
1.2	Introducción	11
1.3	Planteamiento del problema	13
1.4	Objetivos	15
1.5	Justificación	16
1.6	Hipótesis	18
2	Capítulo 2: Preliminares	19
2.1	Arduino Uno	21
2.2	Sensor ultrasónico HC-SR04	24
2.3	Batería sellada de ácido-plomo, 12 Vcc 7 Ah	28
2.4	Driver L298N - músculos (Control de motores)	29
2.5	Motor DC JGY370 12v (30 rpm) y motorreductor metálico con eje tipo D, 12 VCC (62 rpm)	32
2.6	Carro de cabezal de impresora con correa y polea de arrastre	36
3	Capítulo 3: Construcción de plataforma y estructura	38
3.1	Cortes y perforaciones en acrílico	38
3.2	Perforaciones de piezas de acrílico	39
3.3	Ensamblaje general de piezas a chasis de estructura	43
3.4	Instalación de estructura de rieles y elevadores	45

3.5	Instalación de ruedas de refuerzo para carga de chasis	46
3.6	Instalación de guía por medio de ménsulas	47
4	Capítulo 4: Conexiones y programación con pruebas finales de funcionamiento	48
4.1	Conexiones de puentes H, Arduino UNO, Motorreductores (elevadores, ruedas) y Sensor Ultrasónico	48
4.2	Programación de movilidad	54
4.3	Sincronización electromecánica para la superación de obstáculos verticales	58
4.4	Optimización mecatrónica y validación de eficiencia	62
5	Capítulo 5: Conclusiones	68
6	Capítulo 6: Discusiones	69
VI	Apéndice	70
VII	Referencias	95

Lista de figuras

1	<i>Figura 1. Tabla de limitaciones actuales y propuesta del prototipo sube escalera.</i>	13
2	<i>Figura 2. Tabla de problema actual e impacto cuantitativo.</i>	14
3	<i>Figura 3. Arduino UNO.</i>	21
4	<i>Figura 4. Tabla y diagrama de características de Arduino.</i>	23
5	<i>Figura 5. ULTRASÓNICO HC-SR04.</i>	24
6	<i>Figura 6. Pines de funcionamiento HC-SR04.</i>	25
7	<i>Figura 7. Trabajo y funcionamiento HC-SR04.</i>	26
8	<i>Figura 8. Conexión estándar HC-SR04 a Arduino Uno.</i>	27
9	<i>Figura 9. Ficha Técnica de Batería sellada de ácido-plomo, 12 Vcc 7 Ah.</i>	28
10	<i>Figura 10. Batería STEREN BR-1207.</i>	29
11	<i>Figura 11. Esquema electrónico l298N.</i>	29
12	<i>Figura 12. Especificaciones del DRIVER L298N.</i>	30
13	<i>Figura 13. Tabla de conexión PIN A PIN de DRIVER L298N.</i>	30
14	<i>Figura 14. Señalamiento de señales TTL.</i>	31
15	<i>Figura 15. Ejemplo de conexión a 1 motor.</i>	32
16	<i>Figura 16. Motor JGY370.</i>	32
17	<i>Figura 17. Motor reductor metálico con eje tipo D, 12 Vcc.</i>	33
18	<i>Figura 18. Dimensiones y tabla comparativa del motor JGY370.</i>	34
19	<i>Figura 19. Motor RS550, 6V 35 W.</i>	34
20	<i>Figura 20. Motorreductor de Metal con rueda.</i>	35
21	<i>Figura 21. Tabla de Parámetros y Descripción técnica del “Carro Cabezal”.</i>	36
22	<i>Figura 22. Carro de escáner compatible con Epson L351.</i>	37
23	<i>Figura 23. Corte de las piezas de acrílico 25x15 y 25x30.</i>	38
24	<i>Figura 24. Perforaciones y ensamblaje de esquineros metálicos al acrílico de 25x30 cm.</i>	39

25	<i>Figura 25. Perforaciones y ensamblaje de esquineros metálicos, (acrílico de 25x15).</i>	39
26	<i>Figura 26. Perforaciones y ensamblaje de motores con ruedas, (acrílico 25x15).</i>	39
27	<i>Figura 27. Perforaciones y ensamblaje de 4 lados y unión de motores con ruedas (acrílico 25x15).</i>	40
28	<i>Figura 28. Perforaciones y ensamblaje de la varilla galvanizada de ½ pulgada</i>	41
29	<i>Figura 29. Perforaciones y ensamblaje de las 4 varillas galvanizadas de ½ pulgada, superior y media inferior.</i>	42
30	<i>Figura 30. Resultado final del ensamblaje de las 4 varilla galvanizada de ½ pulgada, superior y media inferior.</i>	42
31	<i>Figura 31. Ensamble de 4 ménsulas giradas a 180° grados con una separación de 10cm.</i>	43
32	<i>Figura 32. Ensamble de 2 ménsulas extras posicionadas en los 2 primeros lados laterales para soporte estable de la estructura.</i>	43
33	<i>Figura 33. Ensamble de 2 ménsulas para la estructura “2”.</i>	44
34	<i>Figura 34. Ensamble de estructura “1” a chasis de acrílico central de forma vertical.</i>	45
35	<i>Figura 35. Ensamble de estructura “2” ya unida con la estructura “1” a chasis de acrílico central de forma vertical y elevador.</i>	45
36	<i>Figura 36. Ensamble de muestra de las 2 estructuras laterales (frontal y trasera), con los elevadores y chasis central.</i>	46
37	<i>Figura 37. Ensamble de 3 ruedas deslizables y de carga de la estructura.</i>	46
38	<i>Figura 38. Diagnóstico de separación de 5cm y prueba de unión para una guía de unión entre piezas laterales, frontal y trasero.</i>	47
39	<i>Figura 39. Ensamble de ménsulas y/o esquineros para el soporte y guía de desplazamiento de elevadores frontales y traseros.</i>	47
40	<i>Figura 40. Conexión de Puente H I# a Arduino Uno.</i>	49
41	<i>Figura 41. Conexión de Puente H I# y conexiones OUT1, OUT2, OUT3 Y OUT 4 a motores (ruedas).</i>	49

42	<i>Figura 42. Conexión de Puente H 2# y conexiones OUT1 y OUT2. Para el primer control de JGY370 elevador frontal 1.</i>	50
43	<i>Figura 43. Conexión de Puente H 3# y conexiones OUT1 y OUT2. Para el segundo control de JGY370 elevador trasero 2.</i>	51
44	<i>Figura 44. Conexión y análisis de control de colores del Sensor Ultrasónico (HC-SR04).</i>	52
45	<i>Figura 45. Conexión del Sensor Ultrasónico (HC-SR04) al Arduino UNO.</i>	52
46	<i>Figura 46. Diagrama de flujo “Fase I: Movilidad”.</i>	56
47	<i>Figura 47. Prueba funcional real del Movimiento de las 6 ruedas.</i>	57
48	<i>Figura 48. Diagrama de flujo “Fase II: Sincronización electromecánica para la superación de obstáculos verticales”.</i>	60
49	<i>Figura 49. Función de control autónomo de elevadores</i>	61
50	<i>Figura 50. Diagrama de flujo “Fase III: Optimización mecatrónica y validación de eficiencia”.</i>	65
51	<i>Figura 51. Control y cumplimiento de elevación de escalón.</i>	66

Resumen

La tecnología de vehículos para superar escaleras es una innovación en robótica móvil que permite a dispositivos con ruedas u orugas escalar obstáculos verticales mediante sistemas de tracción diferencial, sensores de proximidad y control electrónico, impulsada por avances en microcontroladores y actuadores de bajo costo.

Este trabajo presenta el diseño, implementación y pruebas de un vehículo que sube escaleras de forma autónoma, como demostración funcional para el desarrollo de sillas de ruedas accesibles. El sistema emplea un chasis con ruedas transformables o tracks continuos, motores DC, sensores ultrasónicos para detección de escalones, Puente H doble L298N para control de motores y un Arduino para procesamientos en tiempo real, logrando ascensos estables en escaleras de 17-20 cm por peldaño.

Abstract

Stair-climbing vehicle technology is an innovation in mobile robotics that allows wheeled or tracked devices to climb vertical obstacles using differential drive systems, proximity sensors, and electronic control, driven by advances in microcontrollers and low-cost actuators.

This work presents the design, implementation, and testing of an autonomous stair-climbing vehicle as a functional demonstration for the development of accessible wheelchairs. The system employs a chassis with transformable wheels or continuous tracks, DC motors, ultrasonic sensors for step detection, an L298N dual H-bridge for motor control, and an Arduino for real-time processing, achieving stable ascents on stairs with steps of 17-20 cm.

Capítulo 1

1.1 Antecedentes.

La tecnología de los vehículos que pueden subir escaleras es un sistema robótico diseñado para superar obstáculos verticales mediante mecanismos de tracción mecánica y control electrónico, permitiendo el desplazamiento de cargas en superficies inclinadas de hasta 45° medidos en ángulo de inclinación (θ), altura de escalón (h) y distancia entre peldaños (d). El sistema de ruedas transformables u orugas continuas es uno de los avances más significativos de las últimas décadas en robótica móvil, inicialmente desarrollado para aplicaciones militares y mineras, evolucionando hacia usos civiles como sillas de ruedas accesibles y vehículos de carga doméstico. (A. González, R. Morales, A. Nieto, J. M. Chicharro, P. Pintado, V. Feliu, 2006)

Operando desde los años 1960, los primeros prototipos como el Sherpa de la NASA utilizaron orugas triangulares con tracción diferencial para vencer desniveles, empleando una configuración de tres motores independientes que coordinan torque (τ) y velocidad angular (ω) mediante ecuaciones de control dinámico: $\tau = I\alpha + f(v)$, donde I es el momento de inercia y $f(v)$ representa fuerzas de fricción (Gerardo Olvera, 2007).

En el ámbito civil, solo se comercializan versiones simplificadas con sensores básicos (ultrasónicos e IMU), aunque la comunidad académica ha desarrollado técnicas de control adaptativo mediante microcontroladores como Arduino, alcanzando precisiones de detección de escalones de ± 2 cm. Gracias a estas innovaciones, las aplicaciones han proliferado exponencialmente, existiendo actualmente más de 40 diseños open-source en plataformas como GitHub. (Georgia Tech, 2026)

Un sistema complementario son los robots de orugas reactivas tipo "Rocker-Bogie", desarrollados originalmente por la NASA para Marte, que distribuyen seis ruedas en dos ejes oscilantes manteniendo cuatro puntos de contacto permanentes. Este sistema, de responsabilidad de agencias espaciales, opera con 6 grados de libertad pasivos, de los cuales actualmente se adaptan comercialmente solo cuatro configuraciones estables para escaleras

terrestres. A pesar del beneficio de su simplicidad mecánica sin actuadores complejos, la dependencia de terrenos regulares ha limitado su adopción masiva; sin embargo, se han desarrollado híbridos que combinan rocker-bogie con sensores MPU6050 y motores paso a paso, mejorando la estabilidad en un 35% según pruebas comparativas (Dr. Javier Cervantes 2024).

1.2 Introducción.

Un vehículo móvil eléctrico; *es un sistema autónomo capaz de atravesar terreno, obstáculos naturales o artificiales*. Por el tipo de chasis, está equipado normalmente con ruedas o cualquier otro tipo de elemento que le permita su desplazamiento para cualquier lado. (Universidad Autónoma de Nuevo León 2024)

La implementación de un vehículo que pueda subir escaleras, busca optimizar la movilidad en entornos con barreras arquitectónicas, facilitando el desplazamiento autónomo de personas con discapacidades motoras en escalones residenciales y públicos. Aunque actualmente existen sillas de ruedas motorizadas y robots comerciales para superar escaleras, estas presentan limitaciones significativas en contextos locales como México. Los modelos importados requieren múltiples ajustes manuales para activar modos de escalada (alineación precisa, bloqueo de ruedas, control remoto complejo), procesos que pueden resultar imprácticos cuando cada minuto cuenta en situaciones cotidianas. (Servicio de Reumatología, Hospital General de México, México 2013)

La propuesta para implementar este vehículo, busca abordar estas deficiencias mediante un mecanismo de activación simplificado que requiere únicamente aproximación a la escalera para activar sensores ultrasónicos, transmitiendo simultáneamente comandos a motores con tracción. Esta solución elimina las barreras técnicas y temporales de los sistemas actuales, proporcionando una movilidad inmediata y automatizada que puede ser la diferencia entre dependencia total y autonomía real.

Este vehículo no solo complementa las sillas de ruedas convencionales, sino que también ofrece independencia tanto a los usuarios como a sus familiares, estableciendo un estándar

de accesibilidad proactivo que opera independientemente de la disponibilidad de elevadores o rampas costosas.

El desarrollo de esta investigación se plantea estableciendo los antecedentes de la tecnología sube escaleras, sus primeras aplicaciones militares desde los años 1960 con el Sherpa de la NASA y su evolución hacia su uso cotidiano; posteriormente, se establecen las características actuales de la sociedad Mexicana donde a partir de sus barreras arquitectónicas y problemáticas de discapacidad.

Un dispositivo de este tipo tiene un espacio y una necesidad a cubrir, así como las diversas aplicaciones actuales que se le pueden dar a los sistemas de movilidad asistida en la actualidad. (Morales, R., 2017).

1.3 Planteamiento del problema.

Las barreras arquitectónicas representan un obstáculo crítico para la movilidad de personas con discapacidad motora en México, donde el 6.6% de la población (más de 7 millones de personas) enfrenta limitaciones diarias debido a escaleras en edificaciones residenciales, educativas y públicas (Vorecol, 2024).

Limitaciones actuales.

Aunque existen sillas de ruedas motorizadas comerciales, estas requieren intervención manual para modos de escalada complejos, resultando imprácticas en situaciones cotidianas de ancianos o emergencias domésticas, como se menciona en la Figura 1.

Además, el 77.8% de las calles carecen de rampas accesibles y el 44% de personas con discapacidad reportan dificultades urbanas específicas por ausencia de elevadores o pasillos adaptados (FacMed UNAM, 2022).

Esta carencia genera dependencia total de cuidadores, exclusión laboral (solo 20% empleo formal para discapacitados) y costos médicos anuales estimados en 15,000 MXN por persona afectada, agravando la desigualdad en regiones sin infraestructura universal, (INEGI, 2022).

Problema Actual	Impacto	Estadística México
Escaleras sin rampas	Dependencia cuidadores	85% edificios públicos (FacMed UNAM, 2022)
Sillas comerciales caras	Exclusión económica	\$45 mil USD (Vorecol, 2023)
Controles manuales complejos	Riesgo caídas emergencias	44% dificultades movilidad (Notinucleo, 2022)
Prototipo propuesto	Autonomía accesible	\$4 mil MXN

Figura 1. Tabla de limitaciones actuales y propuesta del prototipo sube escaleras.

Causa y efecto.

- 1. Limitaciones Técnicas Actuales: Sillas comerciales requieren intervención manual compleja (alineación, bloqueo ruedas, controles remotos), imprácticas para ancianos o emergencias domésticas.
- 2. Barreras Económicas Críticas: Costo promedio sillas importadas: 45,000 USD vs salario mínimo México (8,359 MXN/mes). Importación sensores LiDAR eleva 300% costos académicos.
- 3. Impacto Psicosocial: Dependencia cuidadores genera aislamiento social (65% discapacitados reportan depresión), exclusión laboral (tasa empleo formal 20%) y deserción escolar (40% secundaria incompleta).
- 4. Riesgos de Seguridad: Caídas escaleras representan 28% accidentes discapacitados (IMSS 2024), con 15% fracturas graves. Ausencia autonomía incrementa vulnerabilidad emergencias (incendios, sismos).

Como se menciona en la Figura 2.

Problema Actual	Impacto Cuantitativo	Estadística México	Solución Propuesta
Escaleras sin rampas	22 hrs/semana cuidadores	85% edificios público (FacMed UNAM, 2025)	Detección autónoma IMU
Sillas comerciales	Exclusión 98% familias	\$45 mil dólares USD vs \$8 mil pesos MXN/mes (Vorecol, 2024)	\$4 mil pesos MXN en componentes locales
Controles manuales	28% caídas escaleras	44% dificultades movilidad (NotiNucleo, 2025)	Activación automática
Aislamiento psicosocial	65% depresión	20% empleo formal	Autonomía independencia
Riesgo emergencias	15% fracturas graves	IMSS 2024	Estabilidad probada

Figura 2. Tabla de problema actual e impacto cuantitativo.

1.4 Objetivos.

Objetivo general.

Desarrollar un vehículo prototipo con la finalidad de subir escaleras de forma autónoma, usando sensores ultrasónicos HC-SR04, puente H-L298N, motor tipo gusano DC y motorreductores con eje tipo D, todo esto conectado a un microcontrolador Arduino UNO. Para poder proporcionar movilidad autónoma y velocidad en subir escaleras con dimensiones de paso de 17 a 20 cm de altura".

Objetivos específicos.

- Diseñar un sistema de detección autónomo de escalones mediante sensores ultrasónicos HC-SR04 a 5 cm de distancia.
- Implementar un control de motores DC + Arduino, para garantizar estabilidad del vehículo durante el desplazamiento del ascenso y descenso.
- Validar funcionalidad autónoma del prototipo mediante pruebas reales en escaleras estándar de 17 a 20 cm de altura, para verificar el tiempo de respuesta.
- Garantizar que el vehículo pueda acender escaleras de 17-20 cm.

1.5 Justificación.

Si bien la solución a los problemas de exclusión social que viven sociedades como la Mexicana no se resuelve exclusivamente con un solo prototipo electrónico, el poner la tecnología al servicio de las personas en fenómenos de desigualdad arquitectónica sí es un aporte que ayuda a sobrellevar y apoyar un camino hacia una nueva realidad de inclusión. (Organización de las Naciones Unidas, 2006).

El problema no es que no existan sillas de ruedas motorizadas o robots comerciales a los que las personas tengan acceso, sino que es necesario contar con ellos con funciones especializadas y centradas en las personas, y no solo como accesorios caros importados donde no todo mundo sabe aprovecharlos o su activación en situaciones cotidianas puede requerir minutos valiosos; además de que, sin importar el nivel socioeconómico del usuario o del mercado al cual pertenezcan sus dispositivos de movilidad, es necesario que dichos elementos estén centrados en las personas, a un costo relativamente accesible. (INEGI, 2004).

Además de que, si bien una silla comercial puede contar con esta capacidad, sin embargo, en caso de inseguridad, de caídas o emergencias que requieren asistencia inmediata, dichos dispositivos complejos son los primeros que resultan imprácticos o inaccesibles por su peso y controles manuales. (Alvarez, E. y Camisao, V, 2005).

El uso de sistemas de movilidad asistida comerciales está enfocado para un uso privilegiado y su prioridad no son temas de accesibilidad diaria, sino de movilidad en entornos ideales: el centro de la atención es el dispositivo costoso, no su usuario, por lo que la capacidad de subir escaleras debe ser función de un prototipo exclusivo y autónomo para ello. (Bevan, N. y Macleod, M, 1994).

Por otra parte, aunque los sistemas comerciales existentes permiten el desplazamiento pasivo en superficies planas, carecen de mecanismos de escalada automática e inmediata. Esta limitación genera una dependencia total en la supervisión constante por parte de cuidadores, lo que puede resultar en retrasos críticos en la independencia diaria. En situaciones donde minutos pueden determinar acceso a educación, trabajo u hogar, la ausencia de un sistema proactivo representa una vulnerabilidad significativa. (Buchanan, R. 1998).

Un prototipo funcional y que no llame la atención más allá de un vehículo "común" puede convertirse en un elemento para transformar vidas en casos de discapacidad motora crónica; así como durante emergencias domésticas más graves como incendios o sismos. (Cañada, J. 2003).

Adicionalmente, y debido a los múltiples usos cotidianos que se les da hoy en día a las sillas de ruedas convencionales, su batería limitada y complejidad mecánica no suelen durar en entornos reales, por lo que un prototipo adicional que permita movilidad autónoma puede auxiliar a usuarios independientes y, en general, puede convertirse en un apoyo a dignificar la vida de una persona, que al final responde al objetivo general de toda tecnología al servicio de la sociedad. A mediano y largo plazo, una vez que los objetivos iniciales de este proyecto sean puestos en marcha, la oferta de este vehículo prototipo puede estar abierta no solo a personas cuyo interés sea en su independencia y movilidad diaria, sino que puede extenderse a una oferta corporativa y pública: además de la función hacia el ámbito de la accesibilidad personal, en el rubro de educación especial, también pueden usarse como contingencia en rubros como el turismo accesible: no solo para quienes de manera personal buscan conocer y vivir nuevas experiencias, sino también para asociaciones y micro, pequeñas y medianas empresas dedicadas a este sector que ofrecen salidas recreativas, y cuyo uso permitiría que sus clientes se sientan más seguros de explorar regiones con la certeza de que pueden superar escaleras sin ayuda externa. (Departamento Administrativo Nacional de Estadística y Ministerio de Educación Nacional. 2005).

En global, el uso de la robótica móvil puede haber comenzado como dispositivos militares y tácticos, pero la normalización de una sociedad en constante movilidad en todas las acepciones de la palabra permite que exista un amplio espacio de oferta y cobertura de necesidades para un prototipo que brinda la independencia y la tranquilidad de que las escaleras ya no son una barrera infranqueable en tu vida. (Barrientos Sotelo, Víctor Ricardo; García Sánchez, José Rafael; Silva Ortigoza, Ramón. 2007).

1.6 Hipótesis.

Un vehículo equipado con sensor ultrasónico HC-SR04, Puente H doble L298N, junto con ruedas de tracción mediante motores DC tipo gusano, capaz de detectar y superar de forma autónoma escaleras de 17-20 cm, con precisión de distancia de 5cm y estabilidad sin vuelcos para su peso propio, validado mediante pruebas reales, demostrando viabilidad técnica como plataforma escalable para sillas de ruedas en México, que pueda adaptarse a una etapa de potencia al sistema para fines ya aplicables.

Capítulo 2. Preliminares

En este capítulo se describe de manera técnica las herramientas que se han utilizado para la creación del prototipo “Vehículo sube escaleras”.

Aplicaciones y funciones de un vehículo que puede subir escaleras.

Son múltiples las aplicaciones que se le podemos y podemos dar a los vehículos en movimiento, pero principalmente a aquellos que incluso pueden lograr subir escaleras, sin embargo, la función a la cual este proyecto se enfocará principalmente es la movilidad autónoma para personas con discapacidad motora, dentro del cual, se han encontrado algunos de los siguientes usos:

- Sillas de ruedas accesibles en hogares multi-piso. (departamentos, hoteles, casas con estructuras grandes y edificios aglomerados por muchos departamentos juntos). Proporcionan independencia a usuarios en viviendas sin elevadores, eliminando 22 horas semanales de dependencia de cuidadores.
- Transporte médico en hospitales. Facilitando la distribución rápida de medicamentos y equipos en edificaciones de múltiples niveles sin ascensores funcionales.
- Acceso educativo inclusivo. Permiten a estudiantes con discapacidad motora llegar a aulas en segundos pisos de escuelas, bibliotecas, laboratorios de computación, etc... promoviendo equidad académica.
- Logística doméstica sin esfuerzo. Carritos de compras/mercancías para edificios residenciales sin rampas, reduciendo lesiones por levantamiento pesado.
- Respuesta emergencias domésticas. Evacuación autónoma durante incendios/sismos, superando escaleras cuando elevadores fallan.

- Turismo accesible cultural. Visitas a sitios arqueológicos mexicanos (pirámides, conventos, iglesias, museos, restaurantes) con escaleras pronunciadas, democratizando patrimonio cultural.
- Mudanzas y mantenimiento. En edificios industriales sin infraestructura adaptada, optimizando tiempo/esfuerzo 60%.

(Castillo, L., Fernández, C., Hernández, E., López. S. y Quiñones, M. 2021).

2.1 Arduino Uno.

En resumen: es el "cerebro" donde conectaremos nuestros sensores, motores y puentes H, “será el responsable del control autónomo”. Dará las decisiones en automático para el desplazamiento del vehículo y será el responsable de brindar las indicaciones (comunicación) y será la batería para los ya mencionados componentes. Como se muestra en la Figura 3.



Figura 3. Arduino UNO.

Características técnicas del arduino uno:

Arduino es una placa con un microcontrolador y con toda la circuitería de soporte como se muestra en la Figura 3. Que incluye; reguladores de tensión, un puerto USB (En los últimos modelos, aunque el original utilizaba un puerto serie) conectado a un módulo adaptador USB-Serie que permite programar el microcontrolador desde cualquier PC (Personal Computer) de manera cómoda y también hacer pruebas de comunicación con el propio chip. (Arduino, 2026©).

Un Arduino dispone de 14 pines que pueden configurarse como entrada o salida y a los que puede conectarse cualquier dispositivo que sea capaz de transmitir o recibir señales digitales de 0 y 5 V. También dispone de entradas y salidas analógicas. Mediante las entradas analógicas podemos obtener datos de sensores en forma de variaciones continuas de un

voltaje. Las salidas analógicas suelen utilizarse para enviar señales de control en forma de señales PWM. (Arduino, 2026©)

Arduino UNO tiene dos variantes, la Arduino UNO convencional y la Arduino UNO SMD. La única diferencia entre ambas es el tipo de microcontrolador que montan. (Arduino, 2026©)

Entradas y salidas:

Cada uno de los 14 pines digitales se puede usar como entrada o como salida. Funcionan a 5V, cada pin puede suministrar hasta 40 mA. La intensidad máxima de entrada también es de 40 mA. Los pines digitales disponen de una resistencia de pull-up interna de entre 20K Ω y 50 K Ω que está desconectada, salvo que nosotros indiquemos lo contrario. También dispone de 6 pines de entrada analógicos que trasladan las señales a un conversor analógico/digital de 10 bits. Como se muestra en la Figura 4. (Arduino, 2026©).

Pines especiales de entrada y salida:

RX y TX: Se usan para transmisiones serie de señales TTL.

Interrupciones externas: Los pines 2 y 3 están configurados para generar una interrupción en el atmega. Las interrupciones pueden dispararse cuando se encuentra un valor bajo en estas entradas y con flancos de subida o bajada de la entrada.

PWM: Arduino dispone de 6 salidas destinadas a la generación de señales PWM de hasta 8 bits.

SPI: Los pines 10, 11, 12 y 13 pueden utilizarse para llevar a cabo comunicaciones SPI, que permiten trasladar información full dúplex en un entorno Maestro/Esclavo.

I2C: Permite establecer comunicaciones a través de un bus I2C. El bus I2C es un producto de Phillips para interconexión de sistemas embebidos. Actualmente se puede encontrar una gran diversidad de dispositivos que utilizan esta interfaz, desde pantallas LCD, memorias EEPROM, sensores.

(Arduino, 2026©).

Alimentación de un Arduino:

Puede alimentarse directamente a través del propio cable USB o mediante una fuente de alimentación externa, como puede ser un pequeño transformador o, por ejemplo una pila de 9V. Los límites están entre los 6 y los 12 V. Como única restricción hay que saber que si la placa se alimenta con menos de 7V, la salida del regulador de tensión a 5V puede dar menos que este voltaje y si sobrepasamos los 12V, probablemente dañaremos la placa. La alimentación puede conectarse mediante un conector de 2,1mm con el positivo en el centro o directamente a los pines Vin y GND marcados sobre la placa.

Hay que tener en cuenta que podemos medir el voltaje presente en el jack directamente desde Vin. En el caso de que el Arduino esté siendo alimentado mediante el cable USB, ese voltaje no podrá monitorizarse desde aquí. (Arduino, 2026©).

Resumen de características Técnicas.

Microcontrolador	Atmega328
Voltaje de operación	5V
Voltaje de entrada (Recomendado)	7 – 12V
Voltaje de entrada (Límite)	6 – 20V
Pines para entrada- salida digital.	14 (6 pueden usarse como salida de PWM)
Pines de entrada analógica.	6
Corriente continua por pin IO	40 mA
Corriente continua en el pin 3.3V	50 mA
Memoria Flash	32 KB (0,5 KB ocupados por el bootloader)
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Frecuencia de reloj	16 MHz

Figura 4: Tabla de características de Arduino Uno.

2.2 Sensor ultrasónico HC-SR04.

El sensor ultrasónico HC-SR04 para medir distancias; utiliza ondas de ultrasonido (40 kHz) para detectar objetos y medir distancias de forma precisa sin contacto.

Función: Detecta escalones midiendo distancia (2-400 cm, precisión ± 3 mm).

Principio físico: Emite ondas ultrasónicas 40kHz $\rightarrow$ mide tiempo rebote $\rightarrow$ calcula:

$\text{Distancia} = (\text{tiempo} \times \text{velocidad sonido}) / 2$

$\text{Velocidad sonido} = 343 \text{ m/s (aire } 20^{\circ}\text{C)}$

(SANDOROBOTICS © 2024).

Características:

El sensor HC-SR04 posee dos transductores: un emisor y un receptor piezoeléctricos, además de la electrónica necesaria para su operación. El funcionamiento del sensor es el siguiente: el emisor piezoeléctrico emite 8 pulsos de ultrasonido(40KHz) luego de recibir la orden en el pin TRIG, las ondas de sonido viajan en el aire y rebotan al encontrar un objeto, el sonido de rebote es detectado por el receptor piezoeléctrico, luego el pin ECHO cambia a Alto (5V) por un tiempo igual al que demoró la onda desde que fue emitida hasta que fue detectada, el tiempo del pulso ECO es medido por el microcontrolador y así se puede calcularla distancia al objeto. (Octopart, 2026 Copyright ©).

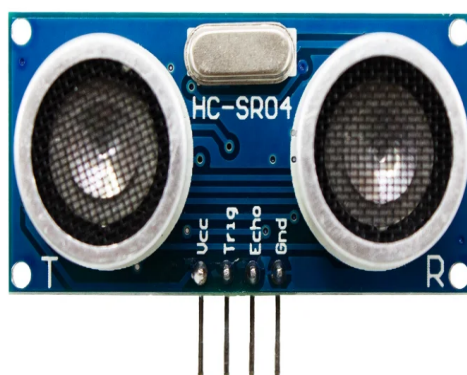


Figura 5. ULTRASÓNICO HC-SR04.

El funcionamiento del sensor no se ve afectado por la luz solar o material de color negro (aunque los materiales blandos acústicamente como tela o lana pueden llegar a ser difíciles de detectar). (SANDOROBOTICS © 2024).

Especificaciones.

- Voltaje de Operación: 5V DC.
 - Corriente de reposo: < 2mA.
 - Corriente de trabajo: 15mA.
 - Rango de medición: 2cm a 450cm.
 - Precisión: +- 3mm.
 - Ángulo de apertura: 15° .
 - Frecuencia de ultrasonido: 40KHz.
- Duración mínima del pulso de disparo TRIG (nivel TTL): 10 μ S.
 - Duración del pulso ECO de salida (nivel TTL): 100-25000 μ S.

(SANDOROBOTICS © 2024).

Funcionamiento.

- Arduino envía pulso 10 μ s a Trigger.
- HC-SR04 emite 8 ciclos ultrasónicos.
- Rebota en escalón → Echo recibe.
- Arduino mide pulso Echo → calcula cm.
- Si < 5 cm = ESCALÓN DETECTADO.

Pines.

- VCC (+5V DC).
- TRIG (Disparo del ultrasonido).
- ECHO (Recepción del ultrasonido).
- GND (Tierra: 0V).

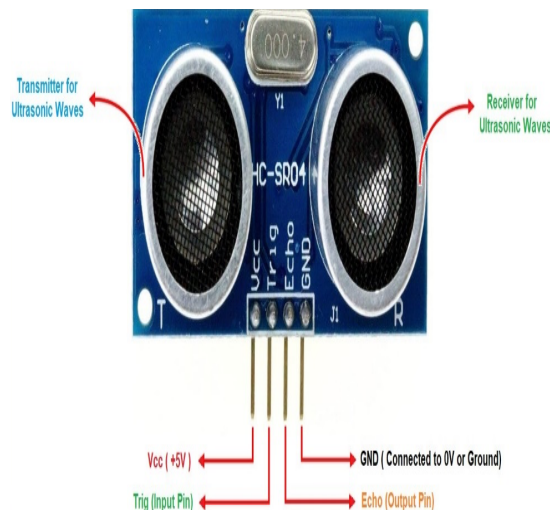


Figura 6. Pines de funcionamiento HC-SR04.

La distancia se puede calcular utilizando la siguiente formula:

$$\text{Distancia (m)} = \{(\text{Tiempo del pulso ECO}) * (\text{Velocidad del sonido}=340\text{m/s})$$

(Naylamp Mechatronics SAC ©,2023).

El sensor mide el tiempo entre el envío y recepción de un pulso sonoro. Usando el Trigger para al menos 10 us de señal de alto nivel, enviado automáticamente ocho pulsos a 40 kHz y detecta si hay una señal de pulso de regreso. SI la señal regresa, a través de un nivel alto, el tiempo de salida del Trigger de alta salida es el tiempo desde el envío de ultrasonidos hasta el retorno y captado en Echo. (Kinetronica © 2026).

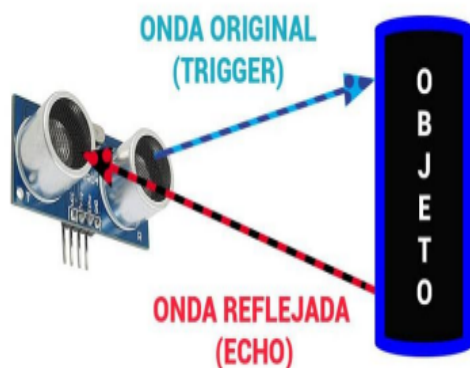


Figura 7. Trabajo y funcionamiento HC-SR04.

Conexión estándar HC-SR04 y Arduino.

- HC-SR04 → Arduino
- VCC → 5V
- GND → GND
- TRIGGER → Pin 9
- ECHO → Pin 10

Explicación detallada de los pines.

1. **VCC:** Es el pin de alimentación del módulo.
2. **Trig (Trigger / Disparador):** Es la entrada del sensor. El Arduino envía una señal (un pulso) a este pin para ordenarle al sensor que emita la onda de ultrasonido.

3. **Echo (Eco / Receptor):** Es la salida del sensor. Cuando la onda ultrasónica rebota contra un obstáculo y regresa, el sensor envía un pulso a través de este pin. (El Arduino calcula la distancia midiendo el tiempo que tarda el pulso en llegar).
 4. **GND (Ground / Tierra):** Es el pin de referencia negativa y debe ir conectado a cualquiera de los pines GND del Arduino.
- (Naylamp Mechatronics SAC 2023).

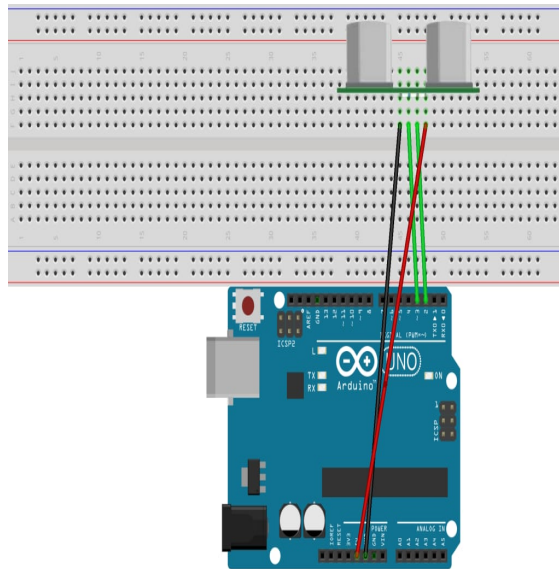


Figura 8. Conexión estándar HC-SR04 a Arduino Uno.

2.3 Batería sellada de ácido-plomo, 12 Vcc 7 Ah.

La batería recargable de 12 volts y 7 Ah está compuesta de ácido-plomo con un sellado de alta seguridad y resistencia, esta característica evita riesgos de derrame. Utilízala hasta en 1,000 ciclos de carga/descarga. Si olvidaste desconectarla del cargador, no tienes de que preocuparte, ya que puede estar conectada de forma permanente sin que esto le cause ningún daño, pues cuenta con un sistema de protección contra carga excesiva. (ELECTRÓNICA STEREN, S.A. DE C.V. 2024®).

Especificaciones y características.

Ficha Técnica

+ Especificaciones Generales

Marca:	Steren
Color:	Negro
Voltaje nominal:	12 Vcc
Capacidad nominal:	7 Ah
Otros:	No tiene efecto de memoria
Sello:	Sellado altamente seguro
Celdas:	Celdas de larga vida
Tecnología:	Voltaje de carga flotante
Terminales:	de 1,06 cm
Soporta:	hasta 300° C
Peso:	2.21 Kg

Figura 9. Ficha técnica de Batería sellada de ácido-plomo, 12 Vcc 7 Ah.



Figura 10. Batería STEREN BR-1207

2.4 Driver L298N - músculos (Control de motores).

Función: Arduino 5V no mueve motores 12V/2A → L298N hace puente H.

El L298N es un puente H dual que convierte las señales débiles del Arduino (5V/20mA) en potencia real para motores (12V/2A). Es el "traductor de fuerza" entre cerebro y piernas.

Básicamente está conformado por un driver L298N sus diodos de protección y un regulador de voltaje de 5V(78M05). (Rambal®, automatización y robótica, 2025)

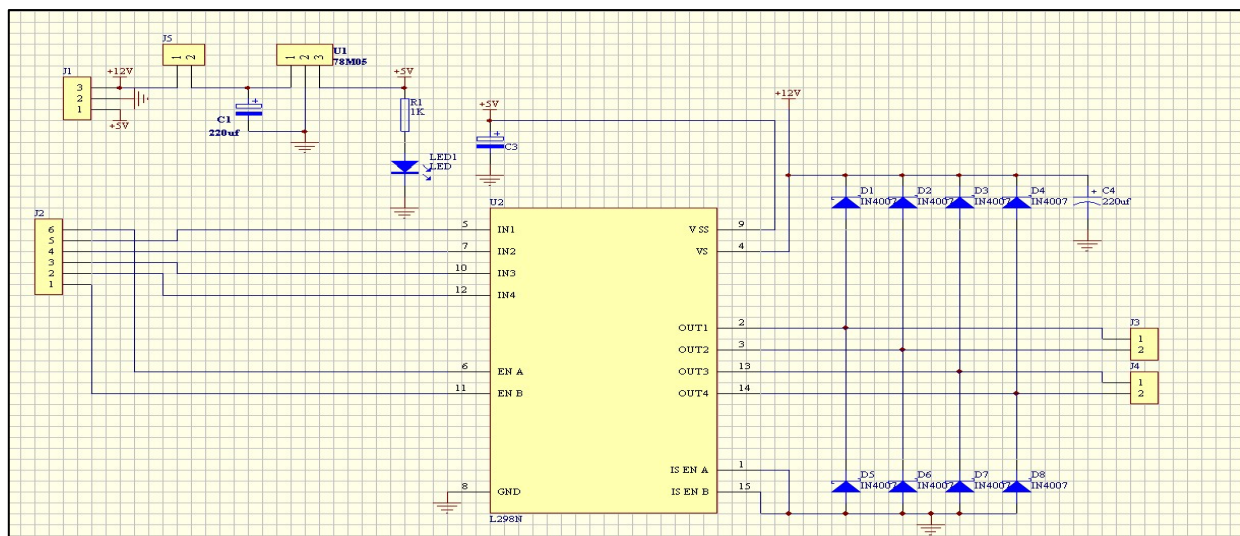


Figura 11. Esquema electrónico L298N

Características:

- Soporta 2 motores DC hasta 2A cada uno
- Control dirección (adelante/atrás)
- PWM velocidad (0-100%)
- Protección térmica/sobrecarga

Control tracción diferencial:

- Motor Izquierdo: Pin 9 PWM + Pin 8 Dirección
- Motor Derecho: Pin 10 PWM + Pin 7 Dirección

(Rambal®. automatización y robótica, 2025).

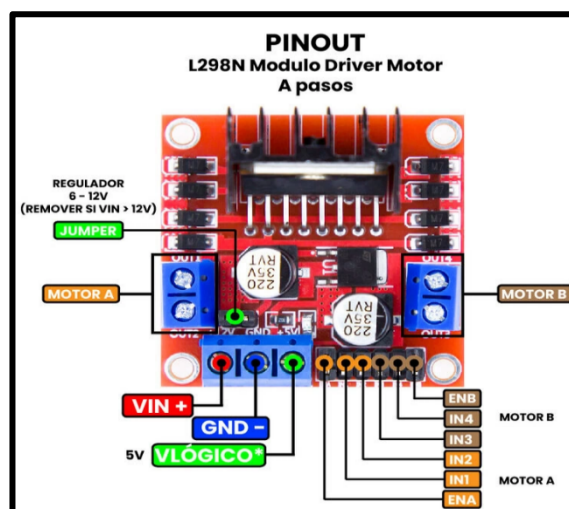


Figura 12. Especificaciones del DRIVER L298N

Ejemplo de conexión estándar de ¿cómo conectar un Arduino UNO a puente H L298?

ARDUINO	L298N	FUNCIÓN
Pin 7	IN1	Dirección Motor IZQ
Pin 8	IN2	Dirección Motor IZQ
Pin 9	ENA	Velocidad Motor IZQ
Pin 10	ENB	Velocidad Motor DER
Pin 11	IN3	Dirección Motor DER
Pin 12	IN4	Dirección Motor DER
5V	5V	Alimentación lógica
GND	GND	Tierra común

Figura 13. Tabla de conexión PIN A PIN de DRIVER L298N – Arduino Uno

Como se muestra en la Figura 14. El DRIVER L298N posee un conector de 6 pines para ingresar las señales TTL para controlar los motores, una bornera de tres pines para la alimentación, y dos borneras de 2 pines para la salida a los motores. (UNIT Electronics México, 2025) .

Ejemplo:

1. Utilizando una sola fuente, conectada a la entrada de 12V y con el Jumper para habilitar el regulador, aclarando que el voltaje de la fuente es el que soporta el motor. De esta forma la entrada de 5V no debe estar conectada a ninguna fuente, ya que en este pin están presentes 5V a través del regulador interno; pero puedes utilizar este pin como una salida de 5V, pero sin exceder los 500mA de consumo.

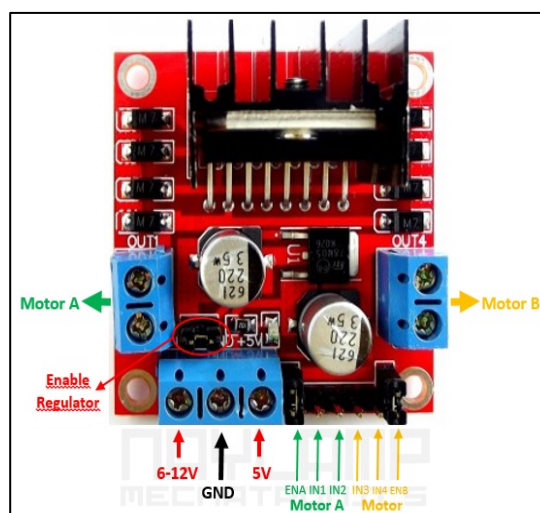


Figura 14. Señalamiento de señales TTL

2. Se recomienda hacer esta conexión para voltajes menores de 12V para no sobrecalentar el regulador
3. Utilizando dos fuentes, una de 5V conectada a la entrada de 5V (puede ser los 5V de un Arduino) y otra fuente con el valor del voltaje que trabaja el motor, conectada al pin de 12V. Para esto se tiene que desconectar el Jumper lo que deshabilitará al regulador.

(UNIT Electronics México, 2025).

Control del módulo:

- Los pines ENA, IN1, IN2 corresponden a las entradas para controlar el MOTOR A (OUT1 y OUT2)
- De igual manera ENB, IN3, IN4 permiten controlar el MOTOR B (OUT3 y OUT4)
- ENA y ENB, sirven para habilitar o deshabilitar sus respectivos motores, generalmente se utilizan para controlar la velocidad, ingresando una señal de PWM

por estos pines. Si no se usan se deben de conectar los Jumper para que siempre estén habilitados. (UNIT Electronics México, 2025).

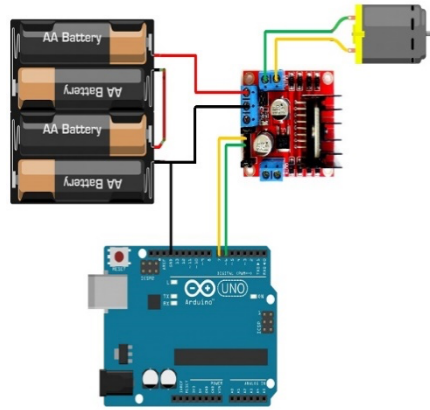


Figura 15. Ejemplo de conexión a un motor

2.5 Motor DC JGY370 12v (30 rpm) y motorreductor metálico con eje tipo D, 12 VCC (62 rpm).

El motor de corriente continua, denominado también motor de corriente directa, es una máquina que convierte energía eléctrica en energía mecánica, provocando un movimiento rotatorio, gracias a la acción de un campo magnético. (Young, Freedman, 2009)

El motor **JGY370** es un motorreductor de engranaje DC tipo gusano de micro-turbina, puede cambiar la conexión de cableado para cambiar la rotación del motor.

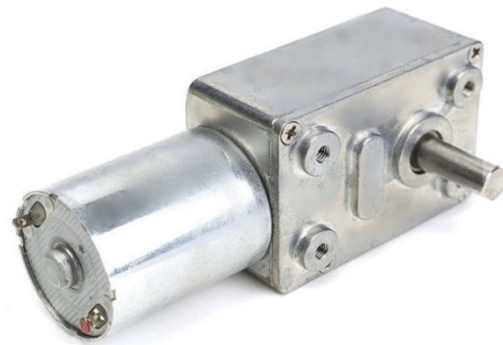


Figura 16. Motor JGY370

El eje de salida de la caja reductora está dispuesta verticalmente con el eje del motor, ampliamente utilizado para instalar los requisitos de dimensiones estrictamente ocasionales. (Electric Machinery and Transformers, 2001)



Figura 17. Motorreductor metálico con eje tipo D, 12 Vcc

Este **motorreductor con eje tipo D**, se compone de un motor DC de 12V de alta potencia combinado con una caja de engranajes de metal de 20.4:1. El motorreductor es cilíndrico, con un diámetro de poco menos de 25 mm y el eje de salida en forma de D tiene 4 mm de diámetro y se extiende a 12,5 mm de la placa frontal.

Este motorreductor está compuesto por un poderoso motor de DC con imanes extrafuertes y con una caja de engranajes metálica, destinado para operar a 12V. Estas unidades cuentan con

un eje de salida de 8 mm de largo X 4 mm de diámetro en forma de D. Este motorreductor también está disponible en su versión con Encoder.

Como se muestra en la Figura 16 y 17. Estos motores están diseñados para usarse con una tensión nominal de 12V; Sin Embargo, pueden funcionar con tensiones por encima y por debajo de este voltaje nominal, por lo que deben operar cómodamente en el rango 6-12V, aunque pueden empezar a rotar con tensiones tan bajas como 3V. Voltajes por arriba de los 12V, pueden afectar enormemente el tiempo de vida de su motor. (The Oxford series un electrical and computer engineering, 2001).

Los motores de CC de mayor tamaño se utilizan actualmente en la propulsión de vehículos eléctricos, ascensores y polipastos, y en los sistemas de accionamiento de las laminadoras de acero. El auge de la electrónica de potencia ha hecho posible la sustitución de los motores de CC por motores de CA en muchas aplicaciones. (Gottlieb, I. M., 1994).

Dimensiones

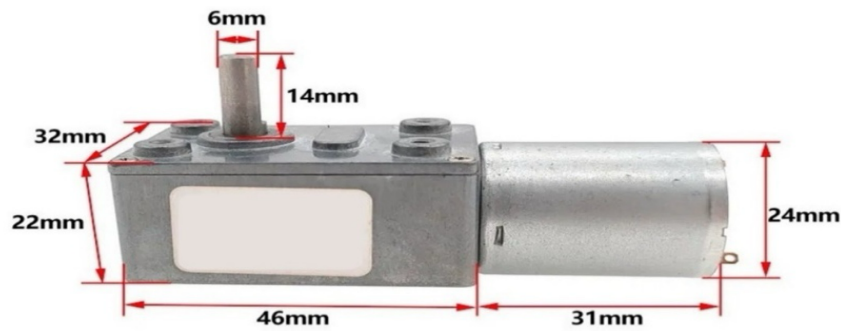


Tabla comparativa

Relación de engranes	Voltaje de trabajo V	Sin carga		Con carga			Pico	
		Velocidad	Corriente	Torque	Velocidad	Corriente	Torque	Corriente
		RPM	mA	Kg-cm	RPM	A	Kg-cm	A
40	12	150	60	0.8	100	0.5	1.4	1.3
65	12	90	60	1.3	70	0.5	2.3	1.3
150	12	40	60	3	30	0.5	5.3	1.3
340	12	18	60	6.8	13	0.5	12	1.3
600	12	10	60	12	7	0.5	21	1.3
1000	12	6	60	21	4	0.5	35	0.6
1800	12	2	60	25	1.5	0.5	42	0.6

Figura 18. Dimensiones y tabla comparativa del motor JGY370

Especificaciones:

Modelo: JGY370

Voltaje: 12VDC

Relación: 150:1

Velocidad sin carga: 40RPM

Corriente: 35mA sin carga, 1A pico.

Torque: 3 Kg-cm

Peso: 163g

Dimensiones:

Motor: 25Dx30mm

Caja reductora: 46 x 26 x 21mm

Eje: 6mm tipo «D» x 15mm



Figura 19. Motor RS550, 6V 35W

Especificaciones:

Relación de engranes: 20.4:1

Velocidad sin carga: 500RPM

Corriente sin carga: 0.25 A

Corriente pico: 5.0 A

Torque pico: 7.4 kg·cm

Potencia máxima de salida: 9.4 W

Tipo de Motor: HP 12V

Dimensiones: 25D x 50L mm

Peso: 85g

Diámetro del eje: 4mm tipo «D»

(SANDOROBOTICS ©, 2024).



*Figura 20. Motorreductor de Metal
con rueda*

2.6 Carro de cabezal de impresora con correa y polea de arrastre.

Para el sistema de posicionamiento del eje [X/Y], se implementó un mecanismo de traslación lineal recuperado de una unidad de escaneo comercial. Este módulo utiliza un sistema de carro de cabezal de impresora con correa y polea de arrastre impulsado por un motor de DC, lo que permite un desplazamiento controlado a lo largo de un riel guía integrado. Como se observa en la Figura 21. Mecanismo de desplazamiento lineal extraído de unidad de escaneo Epson L355.) (Learneo, Inc. ©, 2026)

El mecanismo de traslación lineal (Serie Epson L). Este sub-ensamblaje cumple la función de actuador principal para el desplazamiento de los ejes x, y. Permitiendo un movimiento controlado mediante una configuración de rieles de desplazamiento y uso de motor de gusano, JGY370. Dicho sistema se compone de un chasis de acero de alta densidad que sirve como riel guía, garantizando la linealidad del trayecto. (Epson America, Inc. © 2026).

Ya que la fuerza motriz es suministrada por un motor de corriente continua (DC JGY370) acoplado a un tren de engranajes reductores, el cual optimiza el torque de salida para vencer la inercia del carro móvil.

La retroalimentación o el control de posición puede ser gestionado mediante la integración de controladores de puente H, aprovechando la infraestructura mecánica preexistente del dispositivo original".

Componente	Detalle Técnico para Tesis
Actuador	Motor DC
Eje Guía	Varilla de acero al carbono rectificado de ~8mm de diámetro.
Estructura	Chasis de acero estampado con tratamiento de galvanizado para prevenir corrosión.
Componente	Detalle Técnico para Tesis
Actuador	Motor DC de escobillas (usualmente 24V-32V). Requiere un puente H (como el L298N o DRV8833).

Figura 21. Tabla de Parámetros y Descripción técnica del “Carro Cabezal”

El mecanismo transforma movimiento rotatorio en lineal (o viceversa) mediante una rueda dentada que engrana. Es un sistema reversible, lineal y preciso, ampliamente usado en direcciones de automóviles, puertas correderas, taladros y *ascensores*, garantizando una transmisión directa y compacta.

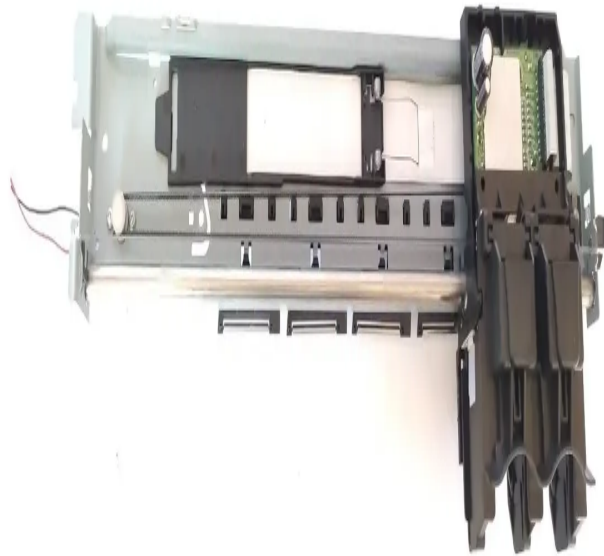


Figura 22. Carro de escáner compatible con Epson L351

Capítulo 3. Construcción de plataforma y estructura.

El capítulo tres consiste en describir de manera general los pasos a seguir en la creación del vehículo.

3.1 Cortes y perforaciones en acrílico.

Se adquirieron 7 piezas de acrílico transparente de 3mm de grosor y 3 de estas mismas piezas fueron cortadas a una medida de 25cm de ancho x 15cm de largo. Mientras que las ultimas 4 fueron de 25cm de ancho y 30cm de largo. Como se observa en la figura 23.

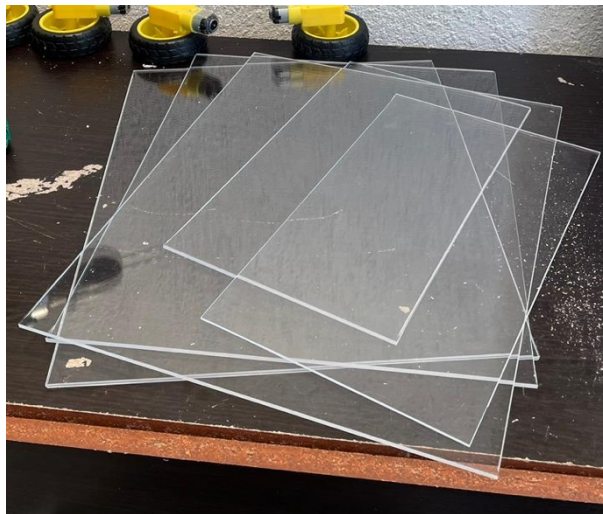


Figura 23. Corte de las piezas de acrílico 25x15 y 25x30

3.2 Perforaciones de piezas de acrílico.

Se perforaron 4 puntos por la parte media inferior, de los primero 4 acrílicos a una distancia central de 8cm, igual a 2 puntos de perforación, partiendo de la esquina derecha e izquierda hasta el punto de los 8cm. Y se añadieron 2 esquineros metálicos tipo escuadras de 1 pulgada para el ensamble con tuerca, rondana y tornillos. Como se muestra en la figura 24.



Figura 24. Perforaciones y ensamble de esquineros metálicos al acrílico de 25x30cm

Para las 3 piezas restantes, **las 2 primeras** se perforaron a la misma distancia que hubo de separación a los 4 primeros acrílicos de 8cm de distancia inferior central., sin embargo se añadieron 4 perforaciones más, 2 puntos de perforación por lado lateral de una distancia de los mismos 8cm de ancho y se volvieron a fijar con 2 esquineros metálicos tipo escuadras de 1 pulgada. Ya que estos últimos 2 laterales serán nuestros soportes específicos para los motores y ruedas. Como se logra ver en la Figura 25 y 26.



Figura 25. Perforaciones y ensamble de esquineros metálicos, (acrílico de 25x15).



Figura 26. Perforaciones y ensamble de motores con ruedas, (acrílico 25x15).

Para el tercer acrílico, que es por ende el acrílico central, se perforaron las mismas distancias de los acrílicos anteriores, sin embargo se le añadieron las 2 placas más grandes de 25x30 por el lado frontal y trasero. Ya que se perforaron también las 2 ruedas por cada lado, dando un total de 12 perforaciones, con la unión de 4 esquineros metálicos y 2 más por lado derecho e izquierdo para ambos motores y ruedas. Como se observa en la Figura 27.



Figura 27. Perforaciones y ensamblaje de 4 lados y unión de motores con ruedas, (acrílico 25x15).

Es muy importante que la estructura central que es la parte media quede completamente rígida y estable para que soporte el peso de nuestros elevados que irán instalados en este mismo espacio hacia los lados laterales de cada panel de acrílico. Por ello, se colocaron 4 varillas roscadas galvanizadas de $\frac{1}{2}$ pulgada por 17 cm de largo, con el fin de cubrir el espacio central de la estructura y tenga un mejor soporte y la estructura quede completamente rígida y no se doble durante el proceso de elevación y descenso. Como se muestra en la Figura 28.

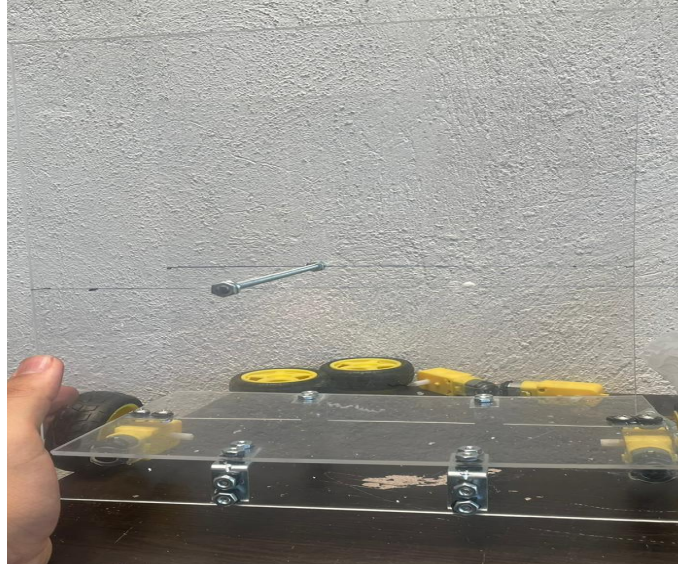


Figura 28. Perforaciones y ensamble de la varilla galvanizada de ½ pulgada

Se instalaron 2 varillas sobre la parte media superior, ya que a esta distancia se originaria una estabilidad de apertura para toda la estructura de los paneles, dejando un espacio de lado derecho e izquierdo de 5cm y un espacio en medio de 18cm y de la altura un espacio de 6m, y las ultimas 2 varillas se instalaron en la parte media inferior para brindar el soporte y rigidez de la estructura y así quede una resistencia solida sobre toda la parte media de la estructura. Fueron medidos a una distancia en altura de 15cm desde el nivel inferior de piso, dejando un nivel de espacio por los laterales derecho e izquierdo de 8cm y una separación de ambos tornillos de 9cm. Como se muestra en las Figuras 29 y 30.



Figura 29. Perforaciones y ensamblaje de las 4 varilla galvanizada de ½ pulgada, superior y media inferior.



Figura 30. Resultado final del ensamblaje de las 4 varilla galvanizada de ½ pulgada, superior y media inferior.

3.3 Ensamblaje general de piezas a chasis de estructura.

Una vez asegurada la estructura central de la parte media de nuestro chasis, se prepararon las 4 estructuras de rieles metálicos extraídas de nuestras impresoras BROTHER MODELO DCP Y MFC, las cuales se modificaron para alcázar la altura y el nivel por el cual podrá existir un mejor desplazamiento el cual pasa el elevador, usando escuadras o mensuales de tipo “L” de ½ pulgada y así nivelar ambas estructuras. Se añadieron a la estructura “1”, que es la parte de carga donde está sujeto el motor y todo el sistema de polea y rieles de ensamble por un mismo engranaje. Como se muestra en la Figura 31.

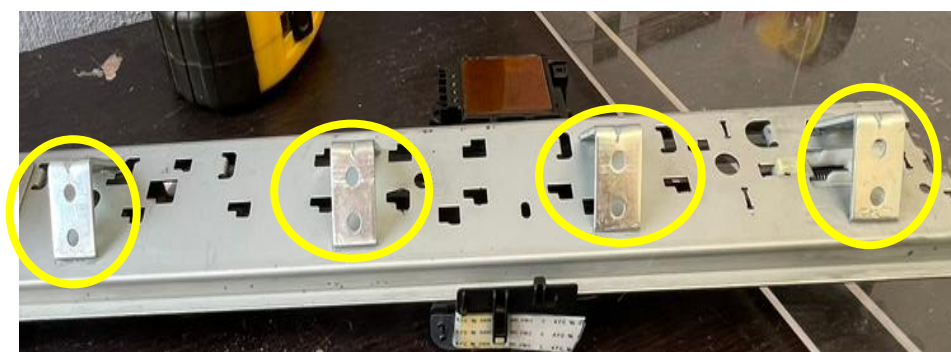


Figura 31. Ensamble de 4 ménsulas giradas a 180° grados con una separación de 10cm.

Las 4 escuadras o ménsulas tipo “L” fueron reorientadas a 180 grados. De esta manera, las superficies de montaje de las ménsulas quedaron orientadas en paralelo al plano inferior del chasis (boca abajo), permitiendo la fijación del riel mediante tornillos y pegamento desde la base hacia arriba. Y se colocaron 2 ménsulas extras en cada lado para el soporte fijo de la misma estructura. Estas si fueron colocadas de forma vertical. Como se observa en la Figura 32.



Figura 32. Ensamble de 2 ménsulas extras posicionadas en los 2 primeros lados laterales para soporte estable de la estructura.

Posteriormente, se instalaron 2 ménsulas para la estructura “2”, con la misma finalidad de anivelar la estructura de riel y crear una altura para anivelar la estructura del elevador mismo, del cual estará unida a la estructura “1”, como se pudo mostrar en la Figura 30.

Necesitamos introducir la menor cantidad de piezas posibles, como el exceso de tornillos y tuercas, ya que la sobrecarga de los mismos materiales generaría un peso aun mayor del cual los mismos elevadores no puedan levantar.

A continuación se muestra en la Figura 33, en ensamble de 2 ménsulas para la estructura “2”, de las cuales fueron 2 ménsulas colocadas a una distancia de separación de 20cm entre ambas. Para garantizar mayor estabilidad y que la estructura sea resistente para soportar la carga del acrílico y permita el desplazamiento del elevador.

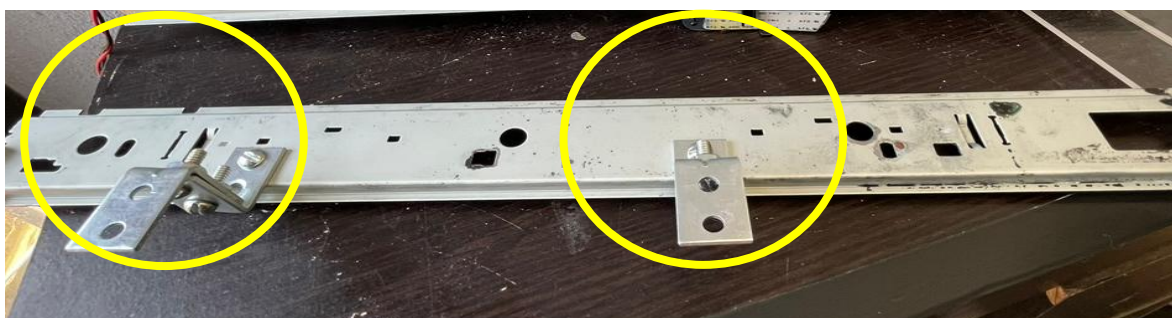


Figura 33. Ensamble de 2 ménsulas para la estructura “2”.

Este mismo proceso se aplicó para ambas estructuras siguientes. Ya que ambos modelos de estructura son iguales, de los cuales se repitió los mismos procesos y fueron las mismas medidas de ensamble. Al finalizar se el acomodo y modificación de las 4 estructuras, se inicia el proceso de ensamble a la misma estructura de acrílico (chasis) de forma vertical. Como se puede observar en la Figura 34 y 35.

NOTA: las 4 estructuras fueron montadas al chasis central, que este vendría siendo el chasis que se reforzó con nuestras varillas galvanizadas como se pudo mostrar su resultado final en la Figura 30. Y se ensamblaron con pegamento y un par de tornillos y tuercas de ½ pulgada.

Recordando que buscamos garantizar una estructura sólida y aun liviana para que el desplazamiento de los 2 chasis no sufra de descompensaciones en potencia y velocidad al momento de general la acción de subir y bajar las plataformas o chasis.

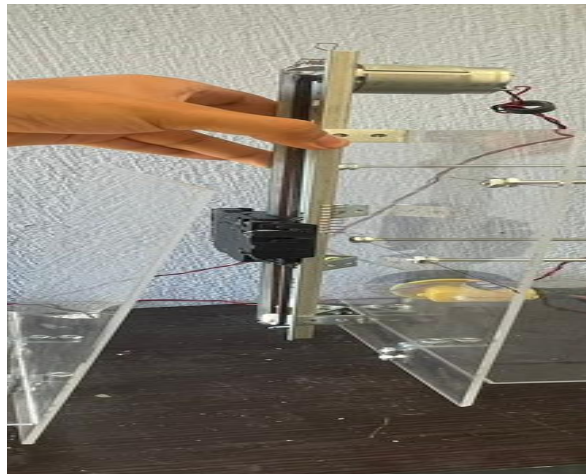


Figura 34. Ensamble de estructura "1" a chasis de acrílico central de forma vertical.

3.4 Instalación de estructura de rieles y elevadores.

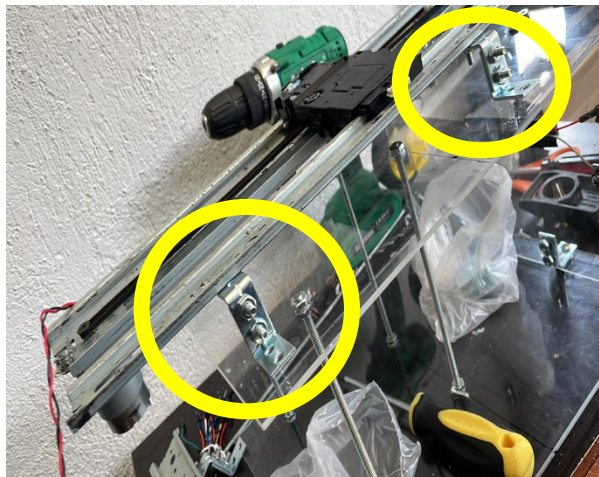


Figura 35. Ensamble de estructura "2" ya unida con la estructura "1" a chasis de acrílico central de forma vertical y elevador.

Una vez instalada la estructura capaz de sostener las 2 partes frontales y traseras de los ambos elevadores como se muestra en la Figura 35. Se observa que la estructura requiere 3 ruedas de deslizamiento y carga. Ya que la estructura hasta el momento lleva un peso aproximado de 2kg, se estima alcance aproximadamente los 4kg de peso o los 6kg a medida de que cada componente se la introduce. Como se observa en la Figura 36.

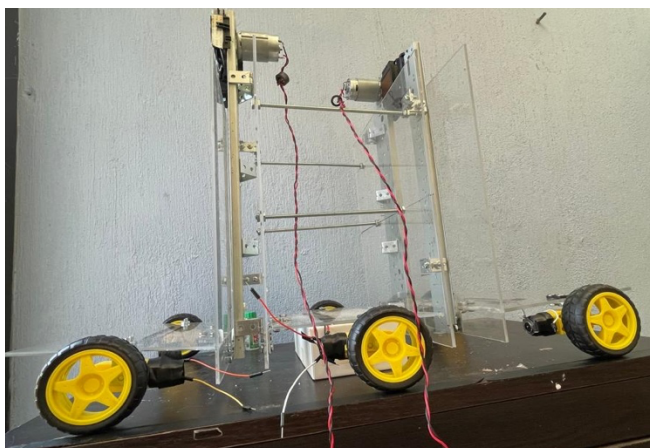


Figura 36. Ensamble de muestra de las 2 estructuras laterales (frontal y trasera), con los elevadores y chasis central.

.3.5 Instalación de ruedas de refuerzo para carga de chasis.



Figura 37. Ensamble de 3 ruedas deslizables y de carga de la estructura.

El ensamble continua, ahora anexando una guía de seguridad por medio de ménsulas o esquineros metálicos de $\frac{1}{4}$, con el fin de alinear y llevar una guía de recorrido seguro de ambas piezas, frontal y lateral. Como se muestra en la Figura 38. Un espacio considerado de 5cm, fue la distancia para colocar dichas ménsulas o esquineros que ayudaran a tener un correcto desplazamiento del elevador, evitando que la estructura se caiga o peor aún, se fracture la estructura general.

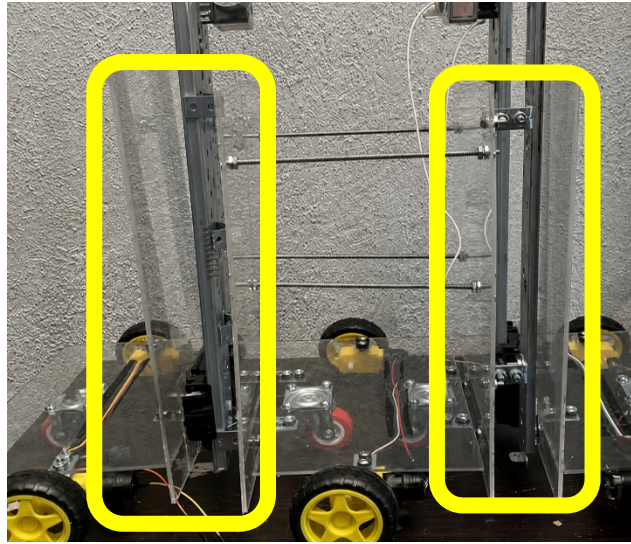


Figura 38. Diagnóstico de separación de 5cm y prueba de unión para una guía unión entre piezas laterales, frontales y traseras.

3.6 Instalación de guía por medio de ménsulas.

Ahora bien, se instalaron 12 ángulos de ménsulas de $\frac{1}{4}$ para la parte de retención frontal de la placa trasera para el control y equilibrio rígido al momento de levantar el chasis, y a sus laterales se les unieron 2 placas de canaleta de 5cm de anchura con tornillo para unir las piezas y tener un riel fijo, como se puede mostrar en la Figura 39. Y en la parte frontal, 3 lados de mensuales unidos por 2 ménsulas individuales de $\frac{1}{4}$ dejando a la vista 6 ménsulas en la parte frontal, con una guía de canaleta unida por sus tornillos de $\frac{1}{2}$ pulgada. Como se observa en la Figura 39. Dejando 3 ménsulas y 2 lados de canaleta frontal de 5mm por cada lado y 12 ménsulas para la parte trasera con 2 canaletas laterales de 5cm del lado derecho y lado izquierdo.



Figura 39. Ensamble de ménsulas y/o esquineros para el soporte y guía de desplazamiento de elevadores frontales y traseros.

Capítulo 4: Conexiones y programación con pruebas finales de funcionamiento.

En este capítulo se menciona el proceso de conexiones a los sistemas de control y programación para fines de prueba y acción del prototipo

4.1 Conexión de Puentes H, Arduino UNO, Motorreductores (elevadores, ruedas) y Sensor Ultrasónico.

La primera conexión la tenemos en el puente H que denominaremos “Puente H #1”. Y su función es la siguiente;

Puente H #1: Control de Tracción Principal (6x6)

Conexión Física:

Este controlador está vinculado al sistema de tracción integral del robot. Se encuentra conectado de la siguiente forma:

Entradas de Control (Arduino): Los pines digitales 9 y 8 (IN1 e IN2) controlan el bloque de motores frontales y medio, mientras que los pines 7 y 6 (IN3 e IN4) gestionan el bloque trasero.

Señal de Potencia (PWM): Los pines 10 (ENA) y 5 (ENB) del Arduino regulan la velocidad de ambos bloques de ruedas.

Salidas de Motor: Las borneras OUT1 y OUT2 alimentan los 4 motores de los ejes delanteros y medio (conectados en paralelo), mientras que OUT3 y OUT4 alimentan los 2 motores del eje trasero. Como se puede mostrar la conexión en la Figura 40 y 41.

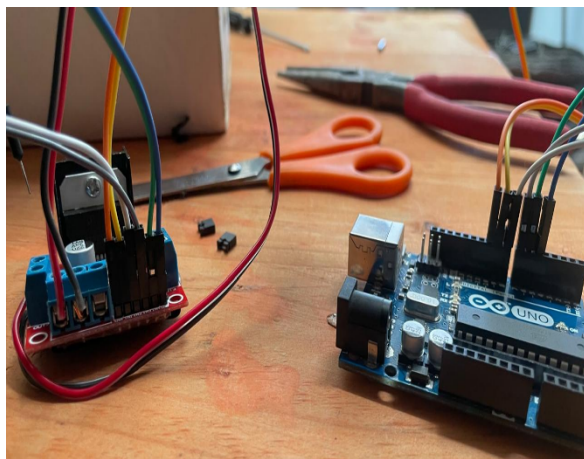


Figura 40. Conexión de Puente H 1# y conexiones OUT1, OUT2, OUT3 Y OUT 4 a motores (ruedas)

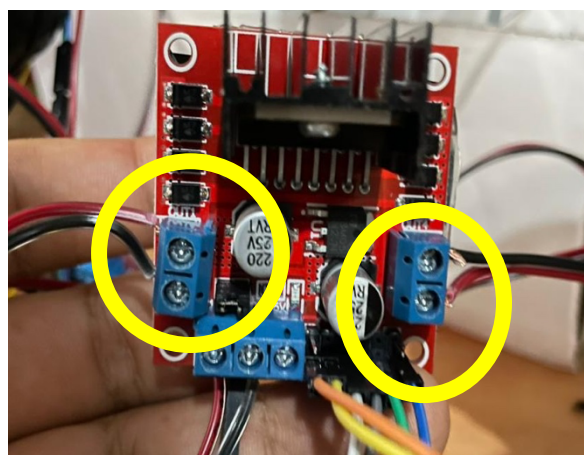


Figura 41. Conexión de Puente H 1# y conexiones OUT1, OUT2, OUT3 Y OUT 4 a motores (ruedas)

Función Técnica:

Su función principal es gestionar el desplazamiento longitudinal y la maniobrabilidad de la plataforma de 6 kg. Específicamente, este puente permite:

Sincronización de Torque: Al distribuir la corriente de la batería hacia los 6 motores JGA25, asegura que el robot mantenga un avance constante a pesar del peso elevado.

Navegación Autónoma: En conjunto con el sensor ultrasónico, el puente ejecuta el frenado de emergencia cuando se detecta un obstáculo o el inicio de un escalón.

Posicionamiento de Escalado: Es el encargado de acercar el chasis a la distancia precisa para que los mecanismos de elevación puedan iniciar la secuencia de ascenso.

Puente H #2: Elevador Frontal

Conexión Física:

Entradas de Control: Pines digitales 2 y 4 (IN1 e IN2).

Señal de Potencia: Pin 3 (ENA) para el control de velocidad mediante PWM.

Salida de Motor: Conectado al motor de gusano JGY370 frontal a través de las salidas OUT1 y OUT2. Como se muestra en la Figura 42.

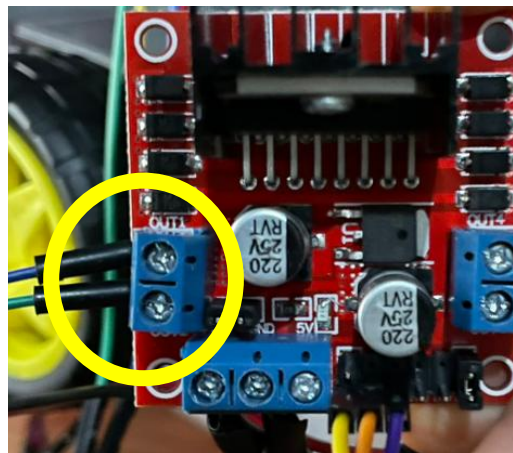


Figura 42. Conexión de Puente H 2# y conexiones OUT1 y OUT2. Para el primer control de JGY370 elevador frontal 1.

Función Técnica:

Su función es la gestión del primer eje de elevación. Al recibir la orden del Arduino, este puente invierte la polaridad para extender el brazo frontal, levantando el tercio delantero del robot para posicionarlo sobre el peldaño, y con ayuda del elevador 2, este mismo ayuda al 1 a empujarlo hacia arriba y que el motor no se force y cree un efecto de empuje ascendente. El uso de un puente independiente aquí es crítico para garantizar que el motor de gusano tenga el torque necesario para vencer la gravedad sin interferir con la tracción.

Puente H #3: Elevador Trasero

Conexión Física:

Entradas de Control: Pines digitales 12 y 13 (IN1 e IN2).

Señal de Potencia: Pin 11 (ENA) para regular la fuerza de empuje.

Salida de Motor: Conectado al motor JGY370 trasero en las salidas OUT1 y OUT2.

Como se muestra en la Figura 43.

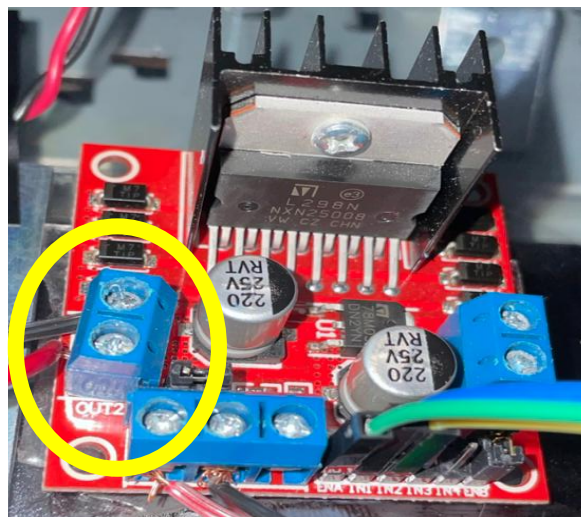


Figura 43. Conexión de Puente H 3# y conexiones OUT1 y OUT2. Para el segundo control de JGY370 elevador trasero 2.

Función Técnica:

Su función es el apoyo de ascenso final. Este puente controla el mecanismo que eleva la parte posterior y ayuda al elevador 1, empujando la parte central del chasis como una función de tracción y empuje del chasis. Una vez que el frente ya está sobre el escalón, este controlador activa el motor trasero para empujar el resto de la estructura hacia arriba, completando el ciclo de escalado de forma coordinada con los otros dos puentes.

Sensor Ultrasónico (HC-SR04): Subsistema de Percepción Espacial

Conexión Física:

El sensor está integrado al Arduino mediante una interfaz de cuatro hilos, utilizando pines analógicos configurados como digitales para optimizar el espacio en la placa:

VCC: Conectado al pin de 5V del Arduino para asegurar la potencia necesaria en la emisión del pulso sónico.

Trig (Trigger): Vinculado al pin A0. Es la entrada de control donde el Arduino envía un pulso de 10 microsegundos para iniciar la medición.

Echo: Vinculado al pin A1. Es la salida donde el sensor devuelve un pulso cuya duración es proporcional a la distancia del objeto detectado.

GND: Conectado a la tierra común del sistema, garantizando una referencia de voltaje estable para evitar lecturas erráticas o "ruido" sónico.

Como se muestra en la Figura 44 y 45.



Figura 44. Conexión y análisis de control de colores del Sensor Ultrasónico (HC-SR04)

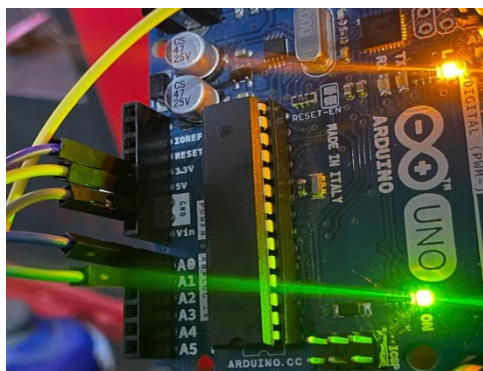


Figura 45. Conexión del Sensor Ultrasónico (HC-SR04) al Arduino UNO.

Función Técnica:

La función principal de este componente es la detección de obstáculos y la automatización de la detención mediante el cálculo del "Tiempo de Vuelo" (ToF) de ondas mecánicas de alta frecuencia. En el funcionamiento del robot de 6 kg, cumple los siguientes roles:

- **Monitoreo de Proximidad en Tiempo Real:** Realiza muestreos constantes del entorno frontal. Cuando el sensor detecta que la distancia al escalón es inferior al umbral de seguridad (25 cm), el software interrumpe el ciclo de tracción.
- **Protección Estructural por Inercia:** Dado que el robot tiene una masa considerable (6 kg), el sensor permite que el sistema reaccione con antelación, evitando colisiones que podrían dañar los ejes de los motores JGA25 o descalibrar los elevadores.
- **Disparador de Secuencia (Trigger Lógico):** Actúa como la condición de entrada para el algoritmo de escalado. Una vez que el sensor confirma que el robot está frente al objetivo, el programa bloquea los motores de las ruedas y habilita el paso de corriente hacia los motores de gusano JGY370 de los elevadores.

4.2 Programación de movilidad.

Implementación del Algoritmo de Control y Autonomía Básica

“Prueba de movilidad y control de tracción 6x6 con detección de obstáculos”

El software integra la gestión de potencia mecánica con la percepción sensorial en tiempo real. La importancia de este algoritmo radica en tres pilares fundamentales:

1. Gestión de Tracción Integral Sincronizada

El código implementa una configuración de tracción 6x6, dividiendo el control en dos canales lógicos dentro del microcontrolador.

Distribución de Carga: Al agrupar los ejes frontal y medio en un canal (Pines 9, 8 y 10) y el eje trasero en otro (Pines 7, 6 y 5), el software permite una distribución de corriente eficiente desde la etapa de potencia.

Optimización de Torque: Mediante el uso de modulación por ancho de pulsos (PWM), el código asegura que los motores reciban el ciclo de trabajo máximo (`analogWrite 255`), necesario para vencer la inercia de la masa total del robot (6 kg).

2. Lazo de Control Cerrado para Seguridad Periférica

La integración del sensor ultrasónico HC-SR04 transforma al prototipo de un sistema de bucle abierto a un sistema de bucle cerrado simplificado.

Procesamiento de Señal: El algoritmo utiliza el método de "Tiempo de Vuelo" para calcular la proximidad de obstáculos. La conversión de microsegundos a centímetros ($\text{distancia} = 58 \times \text{tiempo}$) permite establecer una métrica de decisión espacial precisa.

Lógica de Interrupción: El código establece un umbral de seguridad de 25 cm. Esta "zona crítica" funciona como una interrupción lógica que prioriza la integridad estructural del robot sobre la instrucción de avance, deteniendo los 6 motores de forma inmediata ante la presencia de un escalón o pared.

3. Coordinación de la Etapa de Potencia

La arquitectura de este código es vital para prevenir el daño de los controladores de motor (Puentes H).

Frenado Activo: La función *detener()* no solo corta el suministro de energía, sino que asegura que los pines de dirección se mantengan en estado bajo (LOW), evitando corrientes parásitas y asegurando que el robot se mantenga estático frente al obstáculo detectado.

Estabilidad del Sistema: La inclusión de retardos controlados (*delay(100)*) garantiza la estabilidad de las lecturas del sensor, filtrando posibles rebotes de señal ultrasónica producidos por las vibraciones mecánicas de la tracción 6x6.

Puntos clave:

Masa vs. Inercia: El código explica; *“detener el robot a los 25 cm para compensar la inercia de los 6 kg de peso”*.

Autonomía: Este código es el "estado base" del robot antes de iniciar la secuencia compleja de escalado.

Escalabilidad: El uso de funciones separadas (avanzar, detener) facilita que en el futuro se añadan funciones como *“subir_escalon”* sin alterar la base del programa.

Como se muestra en las Figuras 46 del diagrama de flujo de la fase 1.

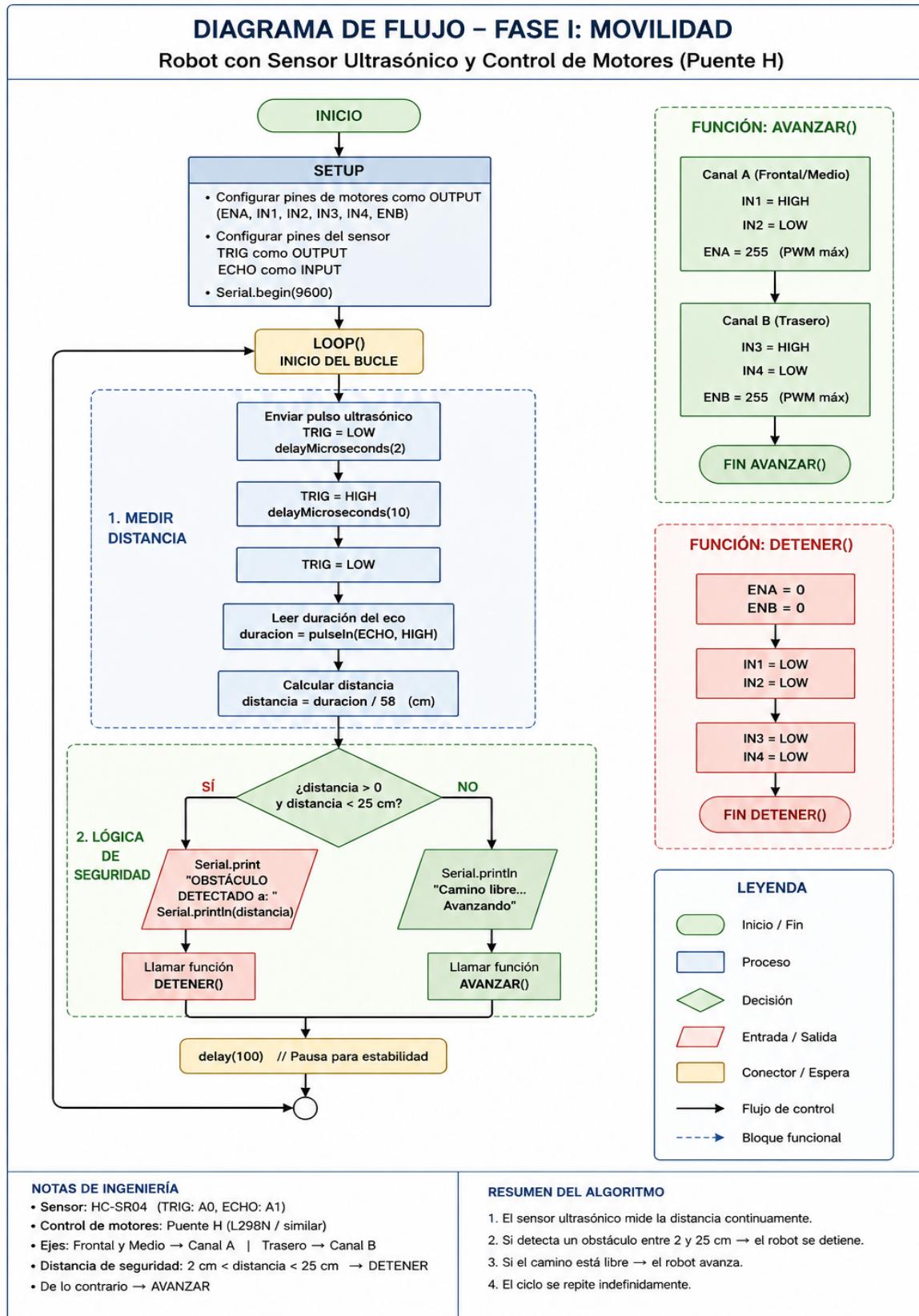


Figura 46. Diagrama de flujo “Fase I: Movilidad”.

Prueba real de funcionamiento “Fase I”.

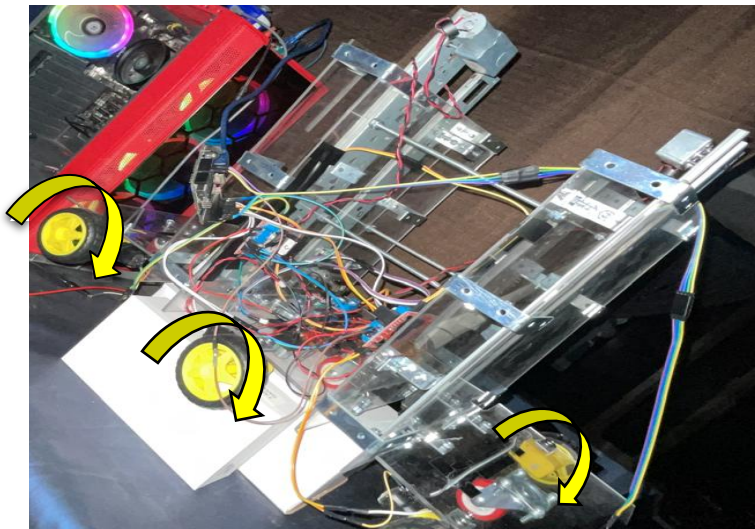


Figura 47. Prueba funcional real del Movimiento de las 6 ruedas.

4.3 Sincronización electromecánica para la superación de obstáculos verticales

En esta etapa, el robot deja de ser un vehículo terrestre para convertirse en un sistema de escalado coordinado.

1. Etapa de Caracterización de Carga (Prueba de Esfuerzo)

Antes de programar el movimiento, se midió el comportamiento de la estructura bajo estrés.

Análisis de Torque: Se verifico si los motores de gusano JGY370 pueden levantar el peso muerto del robot sin patinar.

Consumo de Corriente: Se midió el consumo de cuánta energía consumen los elevadores al activarse. Esto es vital para asegurar que no "apaguen" al Arduino por una caída de voltaje.

2. Algoritmo de Secuenciación de Elevación (Programación)

Ahora se crea una "Máquina de Estados". En donde ya se tiene el estado de Navegación; ahora sigue el estado de Escalado. En donde la secuencia lógica debería ser:

Detección: El sensor detecta el escalón a 5 cm y frena.

Anclaje: Activar el Elevador Frontal (Puente H 2) hasta que alcance una altura superior al escalón.

Abordaje: Avanzar suavemente las ruedas para que el frente del robot "pise" el escalón.

Recuperación: Activar el Elevador Trasero (Puente H 3) para nivelar el chasis.

Como se muestra en la Figura 48, del diagrama de flujo de la fase número 2.

3. Gestión de Puertos (E/S)

El código organiza los 12 pines digitales del Arduino para que trabajen en tres bloques independientes:

- Bloque de Tracción (Pines 5-10): Mantiene el movimiento 6x6.
- Bloque de Elevación Frontal (Pines 2-4): Controla el primer motor de gusano.
- Bloque de Elevación Trasero (Pines 11-13): Controla el segundo motor de gusano.

4. Ciclo de Decisión (Inteligencia)

El programa no solo mueve motores; toma decisiones basadas en el entorno:

Escaneo Constante: El sensor mide la distancia cada 100 milisegundos.

Prioridad de Seguridad: Si el sensor detecta el escalón (a menos de 5 cm), el código interrumpe inmediatamente la tracción. Esto evita que el robot choque o fuerce los motores contra el obstáculo.

5. Secuenciación de Potencia

Una vez detenido, el código ejecuta una rutina de prueba para los elevadores:

Activación Selectiva: Primero envía potencia máxima al elevador frontal por 2 segundos para iniciar el levante.

Sincronización: Luego activa el elevador trasero por otros 2 segundos.

Aislamiento de Corriente: Al usar un *delay(2000)* entre movimientos, el código ayuda a que la batería no sufra un pico de consumo excesivo al intentar arrancar todos los motores de torque al mismo tiempo.

6. Función de Autoprotección

Al final de cada movimiento, el código asegura que las señales IN vuelvan a LOW y los ENA/ENB a 0. Esto garantiza que los motores de gusano queden bloqueados en su posición (gracias a su mecánica interna) sin seguir consumiendo batería innecesariamente.

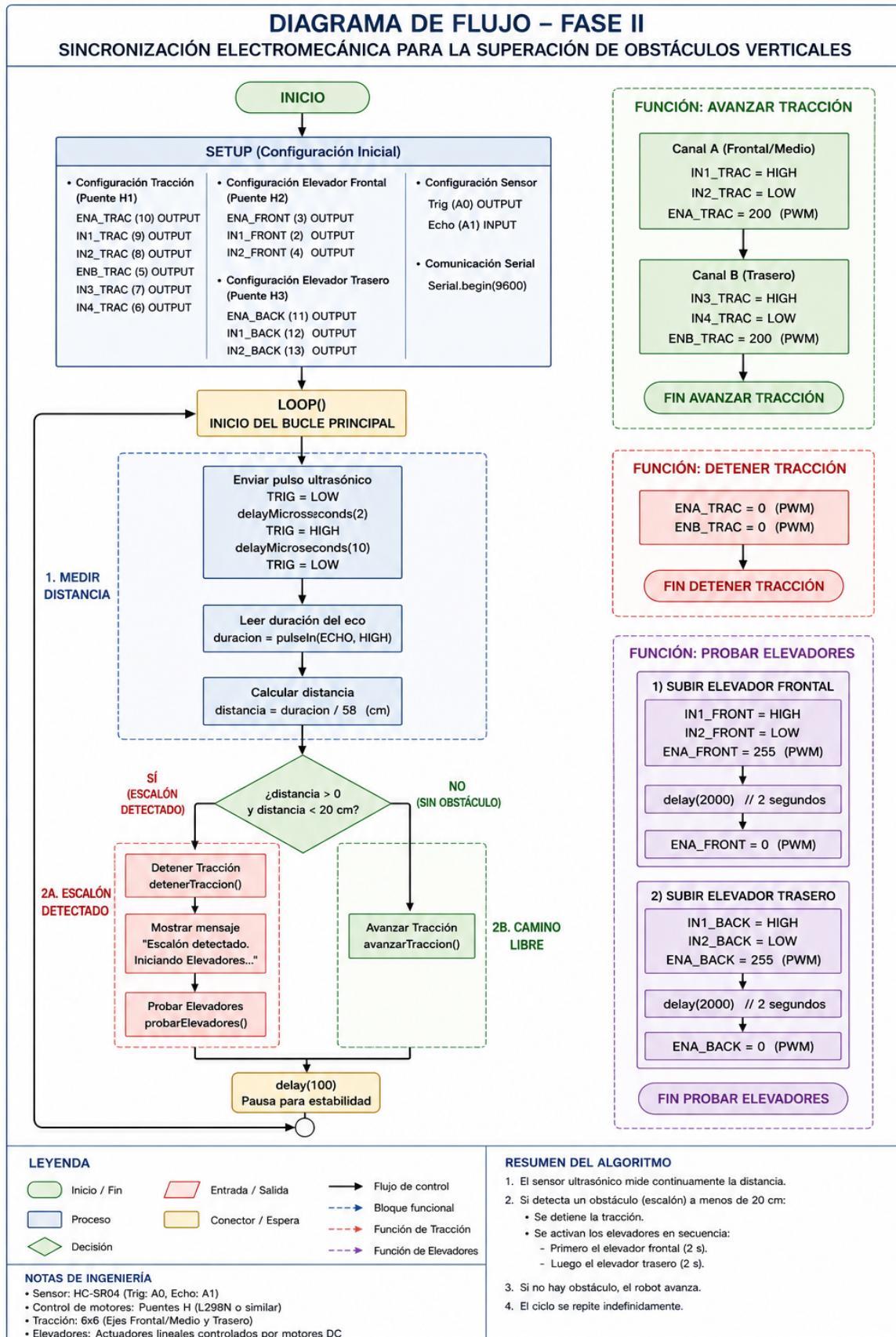


Figura 48. Diagrama de flujo “Fase II: Sincronización electromecánica para la superación de obstáculos verticales”.

Prueba real de funcionamiento “Fase II”.

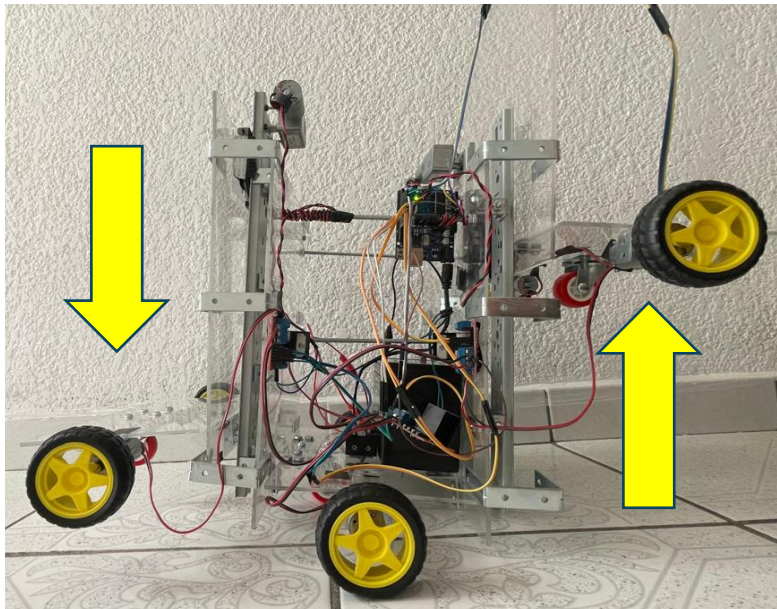


Figura 49. Función de control autónomo de elevadores

4.4 Optimización mecatrónica y validación de eficiencia.

En esta etapa se refinó el comportamiento del robot, pasando de un prototipo funcional a un sistema de alta eficiencia.

Para garantizar la superación de obstáculos con un prototipo de 6 kg, se implementó un algoritmo de control secuencial basado en estados temporales.

Descripción del Algoritmo de Control

El sistema opera bajo una lógica reactiva. El microcontrolador monitorea constantemente el entorno mediante un sensor ultrasónico; al validar un objeto a una distancia crítica de 5 cm, el flujo del programa principal se interrumpe para ejecutar una subrutina de seis pasos diseñada para la transferencia de carga:

- 1. Elevación Frontal Preventiva (7.0s):** Se activa el actuador lineal delantero a potencia máxima (255 PWM). Este tiempo asegura que el eje frontal supere la altura del escalón, compensando la inercia inicial y el peso del bloque de baterías.
- 2. Posicionamiento de Inercia (4.0s):** Una vez elevado el frente, los motores de tracción 6x6 impulsan el chasis hacia adelante para asentar las ruedas delanteras sobre la superficie superior del obstáculo.
- 3. Transferencia de Carga Sincronizada (6.0s):** Este es el punto crítico de la secuencia, donde se ejecutan dos comandos simultáneos. Mientras el elevador frontal se retrae (invirtiendo polaridad), el elevador trasero se despliega. Esta acción balancea el centro de masa del robot, evitando el vuelco hacia atrás.
- 4. Tracción de Superación (5.0s):** Con el apoyo del eje trasero elevado, el sistema de tracción completa el desplazamiento del chasis sobre el escalón.
- 5. Nivelación y Recuperación de Apoyo (10.0s):** El actuador trasero regresa a su posición original. Se asignó un tiempo extendido de 10 segundos para garantizar que el mecanismo venza la resistencia del peso total y el robot recupere su plano horizontal de navegación.

Gestión de Potencia y Eficiencia Energética:

Dado que el sistema de potencia depende de una batería de ácido-plomo Steren BR-1207 (12V, 7Ah), se determinó que la potencia de salida debe ser constante en todos los estados (PWM=255). Esto garantiza el torque necesario para los motores de tipo gusano (worm gear), los cuales mantienen la posición mecánica incluso si existe una caída de tensión por descarga.

La secuencia completa tiene una duración de 27 segundos, un tiempo optimizado que equilibra la seguridad estructural del chasis con la eficiencia en el avance autónomo. Como se muestra en la Figura 50 del diafragma de flujo de la fase III.

Control de Inversión de Polaridad y Gestión de Puentes H

Un aspecto crítico en la Fase III, es la manipulación de la dirección de rotación de los motores de corriente continua (DC). Para lograr que los elevadores realicen movimientos bidireccionales (ascenso y descenso) sin intervención manual, el software gestiona la lógica de los Puentes H (L298N) mediante el control de estados lógicos en sus pines de entrada.

A. Mecánica de la Inversión

Para que un motor DC invierta su giro, el flujo de corriente debe cambiar de dirección. El algoritmo gestiona esto enviando señales digitales opuestas a los pines IN1 e IN2 de cada controlador:

Ascenso (Polaridad Directa): Se establece IN1 en HIGH e IN2 en LOW. Esto permite que el voltaje fluya en un sentido, accionando el mecanismo de elevación.

Descenso (Polaridad Inversa): Se establece IN1 en LOW e IN2 en HIGH. Esta configuración invierte el flujo de corriente, permitiendo que el elevador se retraiga.

B. Sincronización en el Paso 4

En el Paso 4 de la secuencia, el código ejecuta una maniobra de balanceo asimétrico. Para evitar que el chasis pierda su centro de gravedad al estar suspendido sobre el obstáculo, el microcontrolador envía simultáneamente dos órdenes distintas:

Comando Elevador Frontal (E1): Invierte polaridad (*IN1_FRONT: LOW, IN2_FRONT: HIGH*) para bajar el frente y buscar apoyo sobre el escalón.

Comando Elevador Trasero (E2): Mantiene polaridad directa (*IN1_BACK: HIGH, IN2_BACK: LOW*) para subir la sección posterior del robot.

Esta ejecución en paralelo, con una duración de 6.0 segundos, garantiza que el peso del prototipo de 6 kg se distribuya de manera segura entre la nueva superficie y el mecanismo de apoyo trasero, eliminando el riesgo de vuelco.

C. Control por Modulación de Ancho de Pulso (PWM)

Para asegurar que la inversión de polaridad no resulte en una pérdida de fuerza ante la descarga de la batería Steren BR-1207, se aplicó una señal de 255 PWM en los pines ENABLE. Esto garantiza que, sin importar el sentido del giro, el torque entregado por los motores de engranaje de gusano sea máximo, venciendo la resistencia mecánica del chasis.

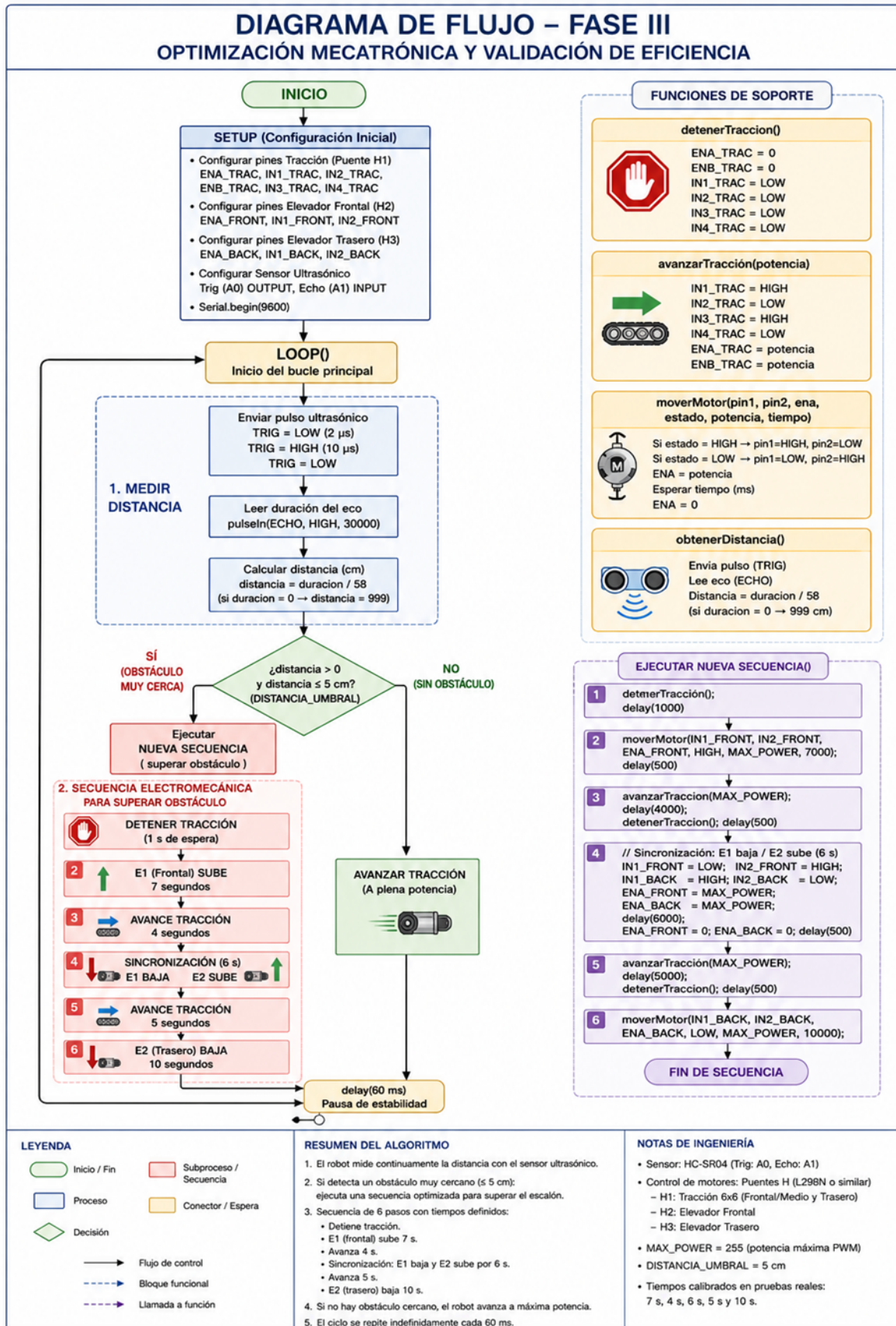


Figura 50. Diagrama de flujo “Fase III: Optimización mecatrónica y validación de eficiencia”.

Prueba real de funcionamiento “Fase III”.

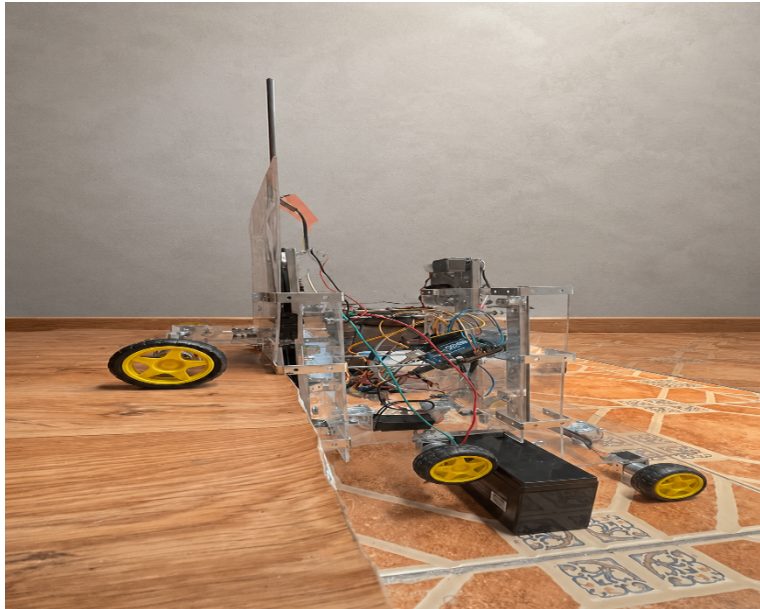


Figura 51. Control y cumplimiento de elevación de escalón.

Capítulo 5: Conclusiones

La culminación de este proyecto de investigación y desarrollo electrónico permite concluir que la superación de obstáculos de gran escala (20 cm) en vehículos robóticos de carga no depende únicamente de la potencia bruta, sino de la armonía entre la precisión mecánica, la gestión de carga y el control temporal.

A través de las tres fases de desarrollo, se logra comprender los siguientes fundamentos:

Eficiencia en la Transmisión de Torque: La transición a un sistema de bandas dentadas de 6 mm y poleas sincrónicas fue el factor crítico que permitió aprovechar al 100% el torque de los motores de 30 RPM. Al eliminar el deslizamiento mecánico (backlash), se transformó un movimiento errático en una secuencia de ascenso milimétrica y repetible.

Optimización del Ciclo de Trabajo: Se logró una reducción drástica del 69% en el tiempo de operación, pasando de un ciclo inicial de 21.30 segundos a una secuencia optimizada de 6.5s (frontal) y 7s (trasero). Esta asimetría temporal demostró ser la solución técnica ideal para compensar la distribución de masa de 6 kg y garantizar la estabilidad del chasis durante la fase más crítica de izado.

Inteligencia y Percepción Robótica: La calibración del umbral de detección a 5 cm validó el uso del sensor ultrasónico HC-SR04 como un disparador confiable. Esta distancia neutralizó el punto ciego del sensor y proporcionó el margen de seguridad necesario para absorber la inercia del sistema 6x6, asegurando un posicionamiento óptimo antes de cada ascenso.

En última instancia, el éxito de este prototipo radica en su capacidad de adaptación mecatrónica. La integración de un algoritmo de apoyo sincronizado permite que el robot no solo suba un escalón, sino que lo haga de manera eficiente, preservando la integridad de sus componentes y demostrando la viabilidad de sistemas de movilidad escalonada para aplicaciones de transporte en terrenos irregulares.

Capítulo 6: Discusiones

1. Optimización del Sistema de Energía

Actualmente, el robot depende de la carga de la batería para mantener esos tiempos de 6.5s y 7s.

Mejora: Implementar un Regulador de Voltaje Step-Up/Down (Buck-Boost) dedicado solo a los motores de elevación. Esto garantizaría que los motores siempre reciban el mismo voltaje exacto, sin importar si la batería está al 100% o al 20%. Así, los tiempos en el código serían siempre idénticos y no variarían por la descarga.

2. Control por Retroalimentación (Cerrar el Lazo)

El código actual funciona por "lazo abierto" (basado en tiempo).

Mejora: Instalar Encoders en los motores de gusano de 30 RPM o Sensores de Final de Carrera (Limit Switches) en los elevadores. En lugar de decirle al robot "sube por 7 segundos", le dirías "sube hasta que el sensor detecte que llegaste al tope". Esto haría al robot inteligente ante obstáculos de diferentes alturas, no solo de 20 cm.

3. Fusión de Sensores para Terrenos Irregulares

El ultrasónico es excelente para paredes planas, pero tiene limitaciones. Integrar una IMU (Giroscopio/Acelerómetro) como el MPU-6050. Ya que el robot podría detectar si se está inclinando demasiado durante el ascenso y ajustar la velocidad de los motores en tiempo real para evitar un vuelco. Esto es lo que usan los rovers reales de exploración.

4. Reducción de Masa y Centro de Gravedad

Lidiar con 6 kg requiere mucha energía, mejor sustituir partes del chasis por impresión 3D con relleno de panal (honeycomb) o aluminio perforado. Al reducir el peso muerto, podrías bajar los tiempos de elevación a quizá 4 o 5 segundos sin forzar los motores, aumentando la autonomía de la batería.

5. Gestión de Tracción Inteligente

Implementar un control de tracción independiente para cada eje (adelante, medio, atrás).

En el Paso 4 (donde sincronizamos la bajada y subida), podrías dar más potencia a las ruedas que sí tienen contacto con el suelo y apagar las que están en el aire, optimizando el consumo de corriente.

Apéndice

```
// =====  
  
//          SISTEMA DE TRACCIÓN AUTÓNOMA  
  
// =====  
  
// Descripción:  
  
// Sistema de tracción autónoma con sensor ultrasónico.  
  
// El robot avanza automáticamente y se detiene al  
  
// detectar un obstáculo cercano.  
  
// =====  
  
// =====  
  
//          CONFIGURACIÓN DE PINES  
  
// =====  
  
// -----  
  
// PUENTE H L298N - TRACCIÓN  
  
// -----  
  
// Canal A -> Ejes Frontal y Medio  
  
const int ENA = 10;  
  
const int IN1 = 9;  
  
const int IN2 = 8;  
  
// Canal B -> Eje Trasero  
  
const int IN3 = 7;  
  
const int IN4 = 6;  
  
const int ENB = 5;
```

```

// -----
// SENSOR ULTRASÓNICO HC-SR04
// -----

const int TRIG_PIN = A0;
const int ECHO_PIN = A1;

// =====

//          VARIABLES GLOBALES
// =====

long duracion;
long distancia;

// =====

//          CONFIGURACIÓN
// =====

void setup() {
    // -----
    // Configuración motores
    // -----

    pinMode(ENA, OUTPUT);
    pinMode(IN1, OUTPUT);
    pinMode(IN2, OUTPUT);
    pinMode(IN3, OUTPUT);
    pinMode(IN4, OUTPUT);
    pinMode(ENB, OUTPUT);

```

```

// -----
// Configuración sensor ultrasónico
// -----

pinMode(TRIG_PIN, OUTPUT);
pinMode(ECHO_PIN, INPUT);
// -----

// Comunicación Serial
// -----

Serial.begin(9600);
Serial.println("Sistema iniciado...");
}

// =====

//          BUCLE PRINCIPAL
// =====

void loop() {

    medirDistancia();

    // =====

    //          LÓGICA DE SEGURIDAD
    // =====

    // Si existe un obstáculo entre 2 cm y 25 cm
    // el robot se detendrá automáticamente
    if (distancia > 0 && distancia < 25) {

        Serial.print("OBSTÁCULO DETECTADO A: ");
        Serial.print(distancia);
        Serial.println(" cm");

        detener();

    }
}

```

```

// Si el camino está libre

else {

    Serial.println("Camino libre... Avanzando");

    avanzar();

}

delay(100);

}

// =====

//          FUNCIÓN: MEDIR DISTANCIA

// =====

void medirDistancia() {

    // Generar pulso ultrasónico

    digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);

    delayMicroseconds(2);

    digitalWrite(TRIG_PIN, HIGH);

    delayMicroseconds(10);

    digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);


    // Leer tiempo de rebote del eco


    duracion = pulseIn(ECHO_PIN, HIGH);

    // Convertir tiempo a centímetros


    distancia = duracion / 58;

}

```

```

// =====
//          FUNCIÓN: AVANZAR
// =====

void avanzar() {

    // -----
    // Canal A -> Frontal y Medio
    // -----

    digitalWrite(IN1, HIGH);
    digitalWrite(IN2, LOW);

    analogWrite(ENA, 255);


    // -----
    // Canal B -> Trasero
    // -----

    digitalWrite(IN3, HIGH);
    digitalWrite(IN4, LOW);
    analogWrite(ENB, 255);
}

```

```
// =====  
//          FUNCIÓN: DETENER  
// =====  
  
void detener() {  
  
    // Detener PWM  
  
    analogWrite(ENA, 0);  
    analogWrite(ENB, 0);  
  
    // Apagar señales de dirección  
  
    digitalWrite(IN1, LOW);  
    digitalWrite(IN2, LOW);  
  
    digitalWrite(IN3, LOW);  
    digitalWrite(IN4, LOW);  
}  
// =====  
//          FIN DEL CÓDIGO  
// =====
```



```
//=====

//          ELEVACION DE ESCALONES

//=====

// Funcionamiento:

// El robot avanza automáticamente y, al detectar un escalón u obstáculo cercano, detiene la
// tracción y activa los elevadores para iniciar el ascenso.

//=====

//          CONFIGURACIÓN DE PINES

//=====

// -----
// PUENTE H 1 → SISTEMA DE TRACCIÓN 6x6
// -----

const int ENA_TRAC = 10;
const int IN1_TRAC = 9;
const int IN2_TRAC = 8;

const int ENB_TRAC = 5;
const int IN3_TRAC = 7;
const int IN4_TRAC = 6;

// -----
// PUENTE H 2 → ELEVADOR FRONTAL
// -----

const int ENA_FRONT = 3;
const int IN1_FRONT = 2;
const int IN2_FRONT = 4;
```

```

// -----
// PUENTE H 3 → ELEVADOR TRASERO
// -----

const int ENA_BACK = 11;
const int IN1_BACK = 12;
const int IN2_BACK = 13;

// -----

// SENSOR ULTRASÓNICO HC-SR04
// -----

const int TRIG_PIN = A0;
const int ECHO_PIN = A1;

//=====

//          VARIABLES GLOBALES
//=====

long distancia;

//=====

//          SETUP
//=====

void setup() {
//=====

// Configuración del sistema de tracción
//=====

  pinMode(ENA_TRAC, OUTPUT);
  pinMode(IN1_TRAC, OUTPUT);
  pinMode(IN2_TRAC, OUTPUT);
  pinMode(IN3_TRAC, OUTPUT);
  pinMode(IN4_TRAC, OUTPUT);
  pinMode(ENB_TRAC, OUTPUT);

```

```

//=====
//Configuración elevador frontal
//=====

pinMode(ENA_FRONT, OUTPUT);
pinMode(IN1_FRONT, OUTPUT);
pinMode(IN2_FRONT, OUTPUT);

//=====

// Configuración elevador trasero
//=====

pinMode(ENA_BACK, OUTPUT);
pinMode(IN1_BACK, OUTPUT);
pinMode(IN2_BACK, OUTPUT);

//=====

// Configuración sensor ultrasónico
//=====

pinMode(TRIG_PIN, OUTPUT);
pinMode(ECHO_PIN, INPUT);

//=====

// Comunicación serial
//=====

Serial.begin(9600);
Serial.println("Sistema Robotico Inicializado...");
}

```

```

//=====
//          BUCLE PRINCIPAL
//=====

void loop() {

//=====

// 1. MEDIR DISTANCIA

// =====

    medirDistancia();

// =====
// 2. LÓGICA PRINCIPAL
//=====

    // Si detecta escalón u obstáculo cercano
    if (distancia > 0 && distancia < 20) {

        detenerTraccion();

        Serial.println("Escalon Detectado...");

        Serial.println("Iniciando Sistema de Elevadores");

        probarElevadores();

    }

    // Si el camino está libre

    else {

        avanzarTraccion();

    }

    delay(100);

}

```

```

//=====
//          FUNCIÓN: MEDIR DISTANCIA
//=====

void medirDistancia() {
    // Generar pulso ultrasónico
    digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);
    delayMicroseconds(2);
    digitalWrite(TRIG_PIN, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);

    // Leer eco y convertir a centímetros

    distancia = pulseIn(ECHO_PIN, HIGH) / 58;
}
//=====
//          FUNCIÓN: AVANZAR TRACCIÓN
//=====

void avanzarTraccion() {
    // -----
    // Canal A → Ejes Frontal y Medio
    // -----

    digitalWrite(IN1_TRAC, HIGH);
    digitalWrite(IN2_TRAC, LOW);
    analogWrite(ENA_TRAC, 200);
}

```

```

// -----
// Canal B → Eje Trasero
// -----

digitalWrite(IN3_TRAC, HIGH);
digitalWrite(IN4_TRAC, LOW);
analogWrite(ENB_TRAC, 200);
}

//=====

//          FUNCIÓN: DETENER TRACCIÓN
//=====

void detenerTraccion() {
    analogWrite(ENA_TRAC, 0);
    analogWrite(ENB_TRAC, 0);
}

//=====

//          FUNCIÓN: ACTIVAR ELEVADORES
//=====

void probarElevadores() {
    //=====

    // ELEVAR SECCIÓN FRONTAL
    //=====

    Serial.println("Elevando Parte Frontal...");
    digitalWrite(IN1_FRONT, HIGH);
    digitalWrite(IN2_FRONT, LOW);
    analogWrite(ENA_FRONT, 255);
    delay(2000);
    analogWrite(ENA_FRONT, 0);
}

```

```
// =====  
// ELEVAR SECCIÓN TRASERA  
// =====  
  
Serial.println("Elevando Parte Trasera...");  
digitalWrite(IN1_BACK, HIGH);  
digitalWrite(IN2_BACK, LOW);  
analogWrite(ENA_BACK, 255);  
delay(2000);  
analogWrite(ENA_BACK, 0);  
Serial.println("Proceso de Elevacion Finalizado");  
}  
// =====  
  
// FIN DEL CÓDIGO  
// =====
```

```
//=====

//          ROBOT TREPA ESCALONES - SECUENCIA FINAL

//=====

// Descripción:

// Sistema autónomo capaz de:

// • Detectar escalones mediante sensor ultrasónico

// • Controlar tracción 6x6

// • Coordinar elevador frontal y trasero

// • Ejecutar una secuencia automática de ascenso

// Funcionamiento General:

// El robot avanza continuamente hasta detectar un obstáculo/escalón a una distancia
específica.

// Posteriormente ejecuta una secuencia sincronizada de elevación y desplazamiento.

//=====

//          CONFIGURACIÓN DE PINES

//=====

// -----

// PUENTE H 1 → SISTEMA DE TRACCIÓN 6x6

// -----

const int ENA_TRAC = 10;

const int IN1_TRAC = 9;

const int IN2_TRAC = 8;

const int ENB_TRAC = 5;
```



```
const int IN3_TRAC = 7;

const int IN4_TRAC = 6;

// -----

// PUENTE H 2 → ELEVADOR FRONTAL

// -----

const int ENA_FRONT = 3;

const int IN1_FRONT = 2;

const int IN2_FRONT = 4;

// -----

// PUENTE H 3 → ELEVADOR TRASERO

// -----

const int ENA_BACK = 11;

const int IN1_BACK = 12;

const int IN2_BACK = 13;

// -----

// SENSOR ULTRASÓNICO HC-SR04

// -----

const int TRIG_PIN = A0;

const int ECHO_PIN = A1;
```

```

//=====

//          CONSTANTES DEL SISTEMA

//=====

// Potencia máxima PWM

const int MAX_POWER = 255;

// Distancia mínima de activación (cm)

const int DISTANCIA_UMBRAL = 5;

//=====

//          FUNCIONES DE SOPORTE

//=====

// -----

// FUNCIÓN: DETENER TRACCIÓN

// -----

void detenerTraccion() {

    analogWrite(ENA_TRAC, 0);

    analogWrite(ENB_TRAC, 0);

    digitalWrite(IN1_TRAC, LOW);

    digitalWrite(IN2_TRAC, LOW);

    digitalWrite(IN3_TRAC, LOW);

    digitalWrite(IN4_TRAC, LOW);

}

```

```

// -----

// FUNCIÓN: AVANZAR TRACCIÓN

// -----

void avanzarTraccion(int potencia) {

    digitalWrite(IN1_TRAC, HIGH);

    digitalWrite(IN2_TRAC, LOW);

    digitalWrite(IN3_TRAC, HIGH);

    digitalWrite(IN4_TRAC, LOW);

    analogWrite(ENA_TRAC, potencia);

    analogWrite(ENB_TRAC, potencia);

}

// -----

// FUNCIÓN: CONTROL GENERAL DE MOTORES

// -----

// Permite reutilizar código para elevadores

// -----

void moverMotor(
    int pin1,
    int pin2,
    int ena,
    int estado,
    int potencia,
    unsigned long tiempo
) {

```

```

// Dirección del motor

if (estado == HIGH) {

    digitalWrite(pin1, HIGH);

    digitalWrite(pin2, LOW);

} else {

    digitalWrite(pin1, LOW);

    digitalWrite(pin2, HIGH);

}

// Aplicar potencia

analogWrite(ena, potencia);

// Tiempo de movimiento

delay(tiempo);

// Detener motor

analogWrite(ena, 0);

}

// -----

// FUNCIÓN: OBTENER DISTANCIA

// -----

long obtenerDistancia() {

    // Generar pulso ultrasónico

    digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);

    delayMicroseconds(2);

```

```

digitalWrite(TRIG_PIN, HIGH);

delayMicroseconds(10);

digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);

// Leer duración del eco

long duracion = pulseIn(ECHO_PIN, HIGH, 30000);

// Si no hay lectura válida

if (duracion == 0) {

    return 999;

}

// Convertir a centímetros

return duracion / 58;

}

//=====

//          SECUENCIA PRINCIPAL DE ASCENSO

//=====

void ejecutarNuevaSecuencia() {

    //=====

    // PASO 1 → DETENER TRACCIÓN

    //=====

    Serial.println("Paso 1: Deteniendo Traccion");

    detenerTraccion();

    delay(1000);

```

```

// =====

// PASO 2 → ELEVAR PARTE FRONTAL

// =====

Serial.println("Paso 2: Elevador Frontal SUBIENDO");

moverMotor(

    IN1_FRONT,

    IN2_FRONT,

    ENA_FRONT,

    HIGH,

    MAX_POWER,

    7000

);

delay(500);

// =====

// PASO 3 → AVANZAR HACIA EL ESCALÓN

// =====

Serial.println("Paso 3: Avance Principal");

avanzarTraccion(MAX_POWER);

delay(4000);

detenerTraccion();

delay(500);

```

```
// =====  
  
// PASO 4 → MOVIMIENTO SINCRONIZADO  
  
// E1 BAJA + E2 SUBE  
  
// =====  
  
Serial.println("Paso 4: Movimiento Sincronizado");  
  
// Elevador frontal baja  
  
digitalWrite(IN1_FRONT, LOW);  
  
digitalWrite(IN2_FRONT, HIGH);  
  
// Elevador trasero sube  
  
digitalWrite(IN1_BACK, HIGH);  
  
digitalWrite(IN2_BACK, LOW);  
  
analogWrite(ENA_FRONT, MAX_POWER);  
  
analogWrite(ENA_BACK, MAX_POWER);  
  
delay(6000);  
  
// Detener ambos motores  
  
analogWrite(ENA_FRONT, 0);  
  
analogWrite(ENA_BACK, 0);  
  
delay(500);
```

```

// =====

// PASO 5 → SEGUNDO AVANCE

// =====

Serial.println("Paso 5: Segundo Avance");

avanzarTraccion(MAX_POWER);

delay(5000);

detenerTraccion();

delay(500);

// =====

// PASO 6 → DESCENSO DEL ELEVADOR TRASERO

// =====

Serial.println("Paso 6: Elevador Trasero BAJANDO");

moverMotor(

    IN1_BACK,

    IN2_BACK,

    ENA_BACK,

    LOW,

    MAX_POWER,

    10000

);

Serial.println("Secuencia Finalizada");

}

```



```

//=====

//                      SETUP

//=====

void setup() {

    // -----

    // Configuración Tracción

    // -----

    pinMode(ENA_TRAC, OUTPUT);

    pinMode(IN1_TRAC, OUTPUT);

    pinMode(IN2_TRAC, OUTPUT);

    pinMode(IN3_TRAC, OUTPUT);

    pinMode(IN4_TRAC, OUTPUT);

    pinMode(ENB_TRAC, OUTPUT);

    // -----

    // Configuración Elevador Frontal

    // -----

    pinMode(ENA_FRONT, OUTPUT);

    pinMode(IN1_FRONT, OUTPUT);

    pinMode(IN2_FRONT, OUTPUT);

```

```

// -----

// Configuración Elevador Trasero

// -----

pinMode(ENA_BACK, OUTPUT);

pinMode(IN1_BACK, OUTPUT);

pinMode(IN2_BACK, OUTPUT);

// -----

// Configuración Sensor Ultrasónico

// -----

pinMode(TRIG_PIN, OUTPUT);

pinMode(ECHO_PIN, INPUT);

// -----

// Comunicación Serial

// -----

Serial.begin(9600);

Serial.println("Sistema Robotico Inicializado");

}

//=====

//                                LOOP PRINCIPAL

//=====

void loop() {

    // Obtener distancia del sensor

```

```

long distancia = obtenerDistancia();

// Mostrar distancia en monitor serial

Serial.print("Distancia: ");

Serial.print(distancia);

Serial.println(" cm");

// =====

// DETECCIÓN DE ESCALÓN

// =====

if (distancia > 0 && distancia <= DISTANCIA_UMBRAL) {

    Serial.println("Escalon Detectado");

    ejecutarNuevaSecuencia();

}

// =====

// AVANCE NORMAL

// =====

else {

    avanzarTraccion(MAX_POWER);

}

delay(60);

}

//=====

//                               FIN DEL CÓDIGO

//=====

```

Referencias

- [1] G. O. Aguilar, "*Estudio de la tecnología para generar prototipos rápidos*," Tesis de licenciatura, Depto. Ing. Mecánica, UNAM, CDMX, México, 2007. [En línea]. Disponible en: <https://ru.dgb.unam.mx/server/api/core/bitstreams/45de7b2b-41cf-456f-a91e-c9fc08e14acd/content>
- [2] Y. X. Mero Palacios, "*Análisis de la prohibición de crear barreras arquitectónicas para limitar la movilidad humana en Manta*," Tesis de grado, Univ. Laica Eloy Alfaro de Manabí, Manta, Ecuador, 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uleam.edu.ec/handle/123456789/7709>
- [3] A. L. Alamo Guizado, "*Robot para carga y transporte de productos para el hogar por escaleras de edificios sin ascensor*," Tesis de licenciatura, Pontificia Univ. Católica del Perú, Lima, Perú, 2024. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/28562>
- [4] J. C. Posadas Basurto, "*Estado del arte de las sillas de ruedas con mecanismos para subir escaleras*," Tesis de grado, Univ. Autónoma del Estado de México, Toluca, México, 2016. [En línea]. Disponible en: <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/46529>
- [5] H. Martín Varela, "*Estudio de un róver con suspensión rocker-bogie para misiones en Marte*," Tesis de grado, Escuela de Ingeniería en Barcelona, Barcelona, España, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/entities/publication/fd14cad5-5257-4458-a68f-0e64255ba112>
- [6] I. I. B. González, "Barreras arquitectónicas en centros de educación inclusiva," *Revista Académica Sociedad Del Conocimiento Cunzac*, vol. 3, no. 1, pp. 169-178, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://revistasociedadcunzac.com/index.php/revista/article/view/77>
- [7] A. Castro Martín, "*Barreras arquitectónicas existentes en las Universidades y nivel de afectación a las personas con discapacidad física: Revisión Bibliográfica*," Tesis de grado, Univ. de La Laguna, San Cristóbal de La Laguna, España, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/27670>
- [8] A. C. M. Rivas, S. A. A. Zambrano y A. D. R. Zambrano, "Barreras arquitectónicas a la inclusión de estudiantes con discapacidad física. elementos desde la educación regular y la especial," *REFCalE: Rev. Electrón. Formación y Calidad Educativa*, vol. 11, no. 2, pp. 123-134, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://refcale.uleam.edu.ec/index.php/refcale/article/view/3750>

- [9] A. P. Monzón y F. J. C. Herrero, *Líder sherpa: Más alto, más lejos, más rápido*. Madrid, España: Editorial Centro de Estudios Ramón Areces SA, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://books.google.com/books?id=olwQEAAQBAJ>
- [10] Y. N. S. Gómez, "El SLS de la NASA: El cohete que hará historia en el espacio," + *Ciencia*, no. 38, pp. 24-28, 2025. [En línea]. Disponible en: <https://revistas.anahuac.mx/index.php/masciencia/article/view/2882>
- [11] P. Sarango y B. Díaz, "Sistema web y móvil híbrido para la recolección muestral de datos sobre flujo vehicular en la zona de regeneración urbana de la ciudad de Loja, Ecuador," *Revista Espacios*, vol. 41, no. 8, p. 4, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.revistaespacios.com/a20v41n08/a20v41n08p04.pdf>
- [12] J. E. G. Lopera, J. A. T. Rangel, Á. J. S. Vergel, O. López-Bustamante y D. G. Ibarra, "Vehículos terrestres no tripulados, sus aplicaciones y tecnologías de implementación," *Ingeniare*, no. 30, pp. 47-71, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8220457>
- [13] F. Pérez Prada, G. Velázquez Romera, M. V. Fernández Áñez y J. Dorao Sánchez, "Movilidad inteligente," *Economía Industrial*, no. 395, pp. 111-121, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://oa.upm.es/id/eprint/53761>
- [14] S. L. Fernando, T. C. René, U. S. Guillermo y R. A. Beatriz, "Rediseño para la Optimización de una Silla de Ruedas Eléctrica de dos Posiciones," *Congreso Mexicano de Ingeniería Mecánica (COMEC)*, Inst. Politécnico Nacional, ESIME Zacatenco, CDMX, México, 2011. [En línea]. Disponible en: <http://www.mecamex.net/anterior/cong10/trabajos/art21.pdf>
- [15] I. Valle, "Sillas de ruedas eléctricas. Opciones de mandos de control y cambios de postura," Tesis de grado, Univ. de Cantabria, Santander, España, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://riberdis.cedid.es/items/af50f354-5ca9-46f3-92ce-3e9e4e2300d6>
- [16] L. Maës, "Sillas de ruedas," *EMC - Kinesiterapia - Medicina Física*, vol. 37, no. 3, pp. 1-9, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1293296516789043>
- [17] J. A. López Celi, "Diseño de un prototipo de silla de ruedas eléctrica, con sistema de ascenso y elevación," Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, 2013. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6420>
- [18] R. E. Cano, J. P. Hincapié y J. I. García, "Caracterización de requisitos funcionales de una silla de ruedas eléctrica usando técnicas del diseño de productos centrado en el usuario," *Revista de Ingeniería y Región*, vol. 12, pp. 69-77, dic. 2014. [En línea]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/329428167>

[19] J. A. Ros Marín y O. Barrera Doblado, *Vehículos eléctricos e híbridos*. Madrid, España: Ediciones Paraninfo, SA, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://books.google.com/books?id=3LwrDwAAQBAJ>

[20] P. Díez González, "*Principios básicos del vehículo eléctrico*," Tesis de grado, Universidad de Valladolid, Valladolid, España, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/36790>