



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE MECATRÓNICA

**ROBOT DESBROZADOR TODO TERRENO AMORTIGUADO
MEDIANTE SISTEMA ROCKER-BOGIE TELEOPERADO POR
RADIOFRECUENCIA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero en Mecatrónica

AUTORES: Andrés Mauricio Campos Montece
Jhon Kenny Tomalá Macay
TUTOR: Christopher Rubén Reyes López

Guayaquil - Ecuador
2024

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, **Andrés Mauricio Campos Montece** con documento de identificación N° **0952370906** y **Jhon Kenny Tomalá Macay** con documento de identificación N° **0927825836**, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del **Dispositivo Tecnológico: ROBOT DESBROZADOR TODO TERRENO AMORTIGUADO MEDIANTE SISTEMA ROCKER-BOGIE TELEOPERADO POR RADIOFRECUENCIA**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

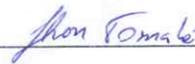
En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 8 de marzo del año 2024

Atentamente,



Andrés Mauricio Campos Montece
0952370906



Jhon Kenny Tomalá Macay
0927825836

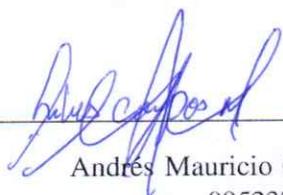
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, **Andrés Mauricio Campos Montece** con documento de identificación N° **0952370906** y **Jhon Kenny Tomalá Macay** con documento de identificación N° **0927825836**; manifestamos que:

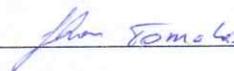
Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo.

Guayaquil, 8 de marzo del año 2024

Atentamente,



Andrés Mauricio Campos Montece
0952370906



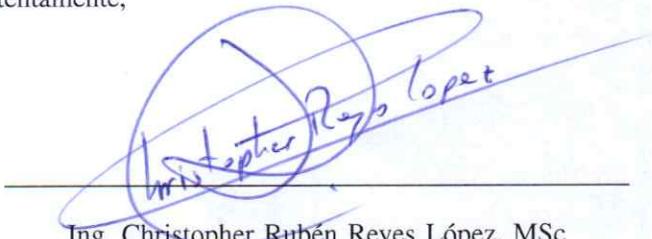
Jhon Kenny Tomalá Macay
0927825836

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Christopher Rubén Reyes López**, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **ROBOT DESBROZADOR TODO TERRENO AMORTIGUADO MEDIANTE SISTEMA ROCKER-BOGIE TELEOPERADO POR RADIOFRECUENCIA**, realizado por **Andrés Mauricio Campos Montece** con documento de identificación N° **0952370906** y por **Jhon Kenny Tomalá Macay** con documento de identificación N° **0927825836**, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción **Dispositivo Tecnológico** que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 8 de marzo del año 2024

Atentamente,



Ing. Christopher Rubén Reyes López, MSc

DEDICATORIA

A mis estimados padres, cuya dedicación inquebrantable, apoyo incondicional y sacrificio han sido la fuente principal de motivación y apoyo durante mi trayecto académico. Su confianza en mí ha sido el impulso fundamental que me ha llevado a alcanzar esta meta. A mi amada pareja, agradezco su infinita paciencia, comprensión y constante fuente de alegría y motivación en los momentos más desafiantes.

A mi amada familia y a mi querido amor, dedico con profundo afecto este logro. Sin su amor y apoyo inquebrantable, este camino habría sido completamente inalcanzable. Agradezco infinitamente por permanecer siempre a mi lado.

Andrés Mauricio Campos Montece

Con inmensa gratitud y un corazón lleno de amor y esperanza, dedico esta tesis a mi amada esposa, mis hijas y mis queridos padres, quienes han sido mis fundamentos inquebrantables a lo largo de este trayecto, y me han transmitido la invaluable lección de que el mayor regalo que podemos otorgar en esta vida es la educación. Esta es la senda que nos abre la puerta al aprendizaje y nos lleva a explorar nuevos horizontes, donde los sueños se tornan alcanzables.

Es un honor y una gran satisfacción dedicar este logro a aquellos que, con dedicación, esfuerzo y entrega, hemos conquistado juntos.

Jhon Kenny Tomalá Macay

AGRADECIMIENTO

Primero, deseo expresar mi gratitud a Dios y a mi familia, quienes han sido mi constante fuente de apoyo a lo largo de los momentos difíciles y los triunfos. Agradezco especialmente a mis padres por ser el sólido sostén en esta travesía universitaria. También quiero reconocer el apoyo y la paciencia de mi pareja, quien ha sido un faro de aliento constante, motivándome a seguir adelante sin desfallecer.

Andrés Mauricio Campos Montece

Expreso mi profundo agradecimiento, en primer lugar, a Dios y a la Universidad Politécnica Salesiana, por brindarme la oportunidad de formar parte de su comunidad académica y por permitirme acceder a su destacado ámbito científico para cursar la carrera de Ingeniería Mecatrónica. También quiero extender mi sincero agradecimiento a los diversos profesores que generosamente compartieron sus conocimientos y brindaron su apoyo, lo que me ha permitido progresar constantemente en mi formación académica. Además, deseo reconocer a mi tutor de tesis, el Ingeniero Christopher Reyes, por ofrecerme su valiosa experiencia y conocimientos científicos, así como por su inestimable paciencia y orientación durante todo el proceso de desarrollo de la tesis. Por último, pero no menos importante, quiero expresar mi sincero agradecimiento a mi esposa e hijas, quienes han sido mi principal fuente de apoyo y motivación para seguir adelante en este exigente camino hacia mi desarrollo profesional.

Jhon Kenny Tomalá Macay

RESUMEN

Esta investigación se centra en la concepción, implementación y análisis de rendimiento de un robot desbrozador todo terreno controlado remotamente a través de radiofrecuencia, empleando el sistema Rocker-Bogie para amortiguar sus movimientos. El propósito fundamental es desarrollar un robot especializado en desbroce capaz de desempeñarse con eficacia en una variedad de terrenos, incluyendo aquellos con relieve irregular y áreas con vegetación densa.

La base fundamental del diseño se fundamenta en la integración de un sistema de suspensión estilo Rocker-Bogie. Este diseño, inspirado en la tecnología empleada por los rovers espaciales, proporciona una mezcla singular de estabilidad y agilidad. Esto permite que el robot se ajuste rápidamente a variaciones abruptas en el terreno y mantenga un contacto continuo con la superficie para garantizar una transmisión eficaz de potencia y un control óptimo de tracción.

La capacidad de operación remota se logra a través de un sistema de teleoperación basado en radiofrecuencia. Este método proporciona al operador un control preciso sobre el robot, lo que es esencial cuando se enfrenta a entornos desafiantes y potencialmente peligrosos. Se abordarán aspectos específicos del desarrollo del sistema de control remoto, incluyendo la interfaz de usuario, la transmisión de datos y la seguridad para garantizar una manipulación precisa y segura.

Además de abordar el diseño mecánico y el sistema de control, la investigación contemplará una etapa experimental en la que se evaluará el desempeño del robot en entornos reales. Se analizarán aspectos como la velocidad, la eficiencia en la eliminación de maleza y la capacidad de adaptación a diversos tipos de terreno. Estos análisis críticos de los resultados permitirán detectar áreas de mejora potencial y ajustes necesarios en el diseño y funcionamiento del robot para desbrozar.

En resumen, esta tesis busca avanzar en el campo de la robótica especializada en agricultura y mantenimiento de terrenos, proponiendo un enfoque integral que combina un diseño mecánico innovador, una suspensión eficiente y un sistema de control remoto por radiofrecuencia para crear un Robot Desbrozador Todo Terreno altamente funcional y versátil.

Palabras claves: Robot desbrozador, sistema de amortiguación Rocker-Bogie, teleoperación por radiofrecuencia, desplazamiento todo terreno.

ABSTRACT

The present thesis addresses the design, development, and evaluation of an All-Terrain Damping Brush Cutter Robot through a Rocker-Bogie System Teleoperated by Radiofrequency. The main objective is to create a specialized brush cutter robot capable of operating efficiently in various types of terrain, ranging from rough terrains to areas with dense vegetation.

The central focus of the design revolves around the implementation of a Rocker-Bogie suspension system. Inspired by those used in space rovers, this system provides a unique combination of stability and flexibility, allowing the robot to adapt to abrupt changes in terrain and maintain constant contact with the ground for efficient power transmission and traction control.

Remote operation capability is achieved through a radiofrequency-based teleoperation system. This method grants the operator precise control over the robot, which is essential when facing challenging and potentially hazardous environments. Specific aspects of the development of the remote control system will be addressed, including the user interface, data transmission, and safety features to ensure precise and secure manipulation.

In addition to addressing mechanical design and control systems, the research will include an experimental phase in which the robot's performance in real-world environments will be evaluated. Aspects such as speed, efficiency in weed removal, and adaptability to various types of terrain will be analyzed. These critical analyses of the results will enable the identification of areas for potential improvement and necessary adjustments in the design and operation of the brush cutter robot.

In summary, this thesis aims to advance the field of robotics specialized in agriculture and terrain maintenance by proposing a comprehensive approach that combines innovative mechanical design, efficient suspension, and a radiofrequency-based remote control system to create a highly functional and versatile All-Terrain Brush Cutter Robot.

Keywords: Brush cutter robot, Rocker-Bogie damping system, radio frequency teleoperation, all-terrain movement.

ÍNDICE

I.	Introducción	1
II.	Problema	2
III.	Justificación	3
IV.	Objetivos	4
	IV-A. Objetivo general	4
	IV-B. Objetivos específicos	4
	IV-C. Matriz de objetivos	4
V.	Marco Teórico	5
	V-A. Robots	5
	V-B. Sistema mecánico	5
	V-C. Bogie	5
	V-D. Sistema de suspensión Rocker-Bogie	6
VI.	Engranajes	6
	VI-A. Categorías de engranes:	6
VII.	Control mecánico en robots	8
	VII-A. Sistema Eléctrico / Electrónico	9
	VII-B. Motores de corriente continua	9
	VII-C. Sistema de Control	22
	VII-D. Sistema de control en lazo cerrado	23
	VII-E. Robótica	23
VIII.	Marco Metodológico	25
	VIII-A. Diagrama de flujo de teleoperación.	25
	VIII-A1. Diagrama de flujo de señal	25
IX.	Resultados	27
X.	Conclusiones	28
XI.	Recomendaciones	29
XII.	Cronograma	30
XIII.	Presupuesto	31
XIV.	Análisis económico	32
	XIV-A. Costos de materiales	32
	Referencias	35
	Anexo A: Motor paso a paso	37
	Anexo B: Planos	39
	Anexo C: Circuitos	45

Anexo D: Prototipo

46

Anexo E: Programación

46

ÍNDICE DE FIGURAS

1.	Usos de robots en tareas agrícolas [1]	2
2.	Sistema de suspensión Rocker-Bogie [4]	5
3.	Bogie [5]	5
4.	Adaptación del mecanismo Rocker-Bogie [6]	6
5.	Spirit II- Mars Rover [6]	6
6.	Engranajes rectos [8]	7
7.	Engranajes cónicos [8]	7
8.	Engranajes rectos [8]	8
9.	Geometrías de dirección [9]	9
10.	Comunicación inalámbrica con Xbee [10]	9
11.	Rotor y estator de un Motor de corriente continua [11]	10
12.	Servomotor [12]	11
13.	Estructura interna del Servomotor [13]	11
14.	Motor paso a paso [14]	12
15.	Identificación de cables de motor paso a paso de tipo unipolar [15]	14
16.	Generación de pulsos para un Servomotor [16]	15
17.	Giros del motor mediante transistores con fuentes sinemétricas simples e interruptores [17]	16
18.	Circuito electrónico Puente H [18]	17
19.	Circuito Integrado L293 [19]	17
20.	Lógica de funcionamiento para el driver L293 [19]	18
21.	Driver de motores de corriente continua de 9A [20]	18
22.	Transistor Mosfet IR7862 [21]	18
23.	Interruptor de posición [20]	19
24.	Lógica de funcionamiento para el driver L293 [17]	20
25.	Sensor Inductivo [22]	20
26.	Sensor Infrarrojo [23]	21
27.	Esquema eléctrico de un sensor infrarrojo [24]	21
28.	Sensor Ultrasónico [25]	21
29.	LabVIEW para Robótica [26]	22
30.	Sistema de control [27]	23
31.	Robot esférico o polar [28]	23
32.	Robot esférico o polar [28]	24
33.	Diagrama de flujo teleoperación [34]	25
34.	Diagrama de flujo de Señal [34]	26
35.	Robot desbrozador [35]	27
36.	Factura [36]	33
37.	Factura [36]	34
38.	Materiales [37]	37
39.	Materiales [37]	38
40.	Pieza 4 rueda Solidworks [38]	39
41.	Pieza 3 Solidworks [38]	39
42.	Pieza 4 Solidworks [38]	40
43.	Pieza 6 Solidworks [38]	40
44.	Tubo Solidworks [38]	41
45.	Brazo 1 Solidworks [38]	41
46.	Cuerpo Solidworks [38]	42
47.	Brazo 2 Solidworks [38]	42
48.	Brazo 3 Solidworks [38]	43
49.	Brazo 4 Solidworks [38]	43

50.	Ensamblaje Solidworks [38]	44
51.	Círculo Robot desborce [39]	45
52.	Receptor RC 10 canales [39]	45
53.	Receptor RC [39]	46
54.	Prototipo [40]	46
55.	Control RC 10 Canales PCB [41]	47
56.	Diseño PCB [41]	47
57.	Receptor RC 10 canales PCB [41]	48
58.	CAD llantas [42]	48
59.	CAD Rocker-Bogie [42]	49
60.	Imagen Prueba placa [43]	49
61.	Imagen prueba Placa control [43]	50

ÍNDICE DE TABLAS

I.	Matriz de objetivos	4
II.	Ventajas y desventajas de las conexiones de un motor de corriente continua	10
III.	Especificaciones técnicas de los servomotores	12
IV.	Sistemas de control para motores bipolares.	13
V.	Secuencia Normal y Wave Drive para motores unipolares	13
VI.	Pros y contras de un servomotor y de un motor paso a paso	14
VII.	Contraste entre los relés y transistores	16
VIII.	Ventajas y desventajas de los interruptores de contacto	19
IX.	Ventajas y desventajas de sensores capacitivos e inductivos	20
X.	Ventajas y desventajas de sensores ultrasónicos	22
XI.	Cronograma de Actividades para Implementación del Anteproyecto de Tesis.	30
XII.	Presupuesto para la fabricación del robot desbrozador.	31

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la creciente necesidad de soluciones eficientes en la agricultura y el mantenimiento de terrenos ha estimulado la innovación tecnológica. El presente trabajo de investigación se centra en la concepción y creación de un robot desbrozador apto para diversas superficies. Su sistema de amortiguación se fundamenta en la tecnología Rocker-Bogie, reconocida por su adaptabilidad a terrenos irregulares, lo que proporciona al robot una movilidad excepcional para sortear obstáculos de manera eficaz.

El enfoque teleoperado mediante radiofrecuencia añade un elemento clave a la propuesta, permitiendo a los operadores controlar el robot de manera remota, optimizando así la seguridad y la eficiencia en entornos de difícil acceso o condiciones adversas. La integración de estas tecnologías busca mejorar significativamente las operaciones de desbroce, proporcionando una alternativa avanzada y versátil a los métodos tradicionales.

Este proyecto se centra en mejorar la gestión de terrenos y maquinaria agrícola para reducir costos y aumentar la productividad. A través de un enfoque interdisciplinario que integra la ingeniería mecánica, la robótica y las telecomunicaciones, la investigación busca examinar y validar la factibilidad de un robot desbrozador controlado por radiofrecuencia con un sistema Rocker-Bogie. Se analizarán sus beneficios y desafíos en comparación con los métodos tradicionales.

La presente tesis pretende ser una contribución significativa al campo de la robótica aplicada a la agricultura y el mantenimiento de terrenos, proporcionando una plataforma tecnológica avanzada que pueda ser adaptada y mejorada en futuras investigaciones. La combinación de un diseño robusto, movilidad excepcional y control remoto por radiofrecuencia ofrece un enfoque integral para abordar los desafíos actuales en la gestión de terrenos, estableciendo las bases para la evolución continua de la maquinaria agrícola hacia soluciones más eficientes y sostenibles.

II. PROBLEMA

La agronomía representa uno de los ámbitos donde la tecnología ha progresado rápidamente a nivel global. A pesar de esto, en Ecuador, un país con una larga historia en agricultura, este avance tecnológico no ha sido proporcionalmente adoptado. Es crucial destacar los amplios beneficios que podríamos obtener al implementar estas tecnologías en todas las fases de la producción, ya que estas mejoras fortalecen la base productiva y contribuyen al anhelado desarrollo nacional. La introducción de la mecanización agrícola en el siglo XIX y la adopción del motor de combustión en el siglo XX tuvieron un impacto considerable en el aumento de la producción agrícola, a pesar de la considerable reducción de mano de obra asociada, que experimentó una notable disminución. Sin embargo, es importante destacar que este aumento en la producción ha sido acompañado, en muchos casos, por un significativo desperdicio de recursos, lo cual no es sostenible a largo plazo, como se muestra en la figura 1.

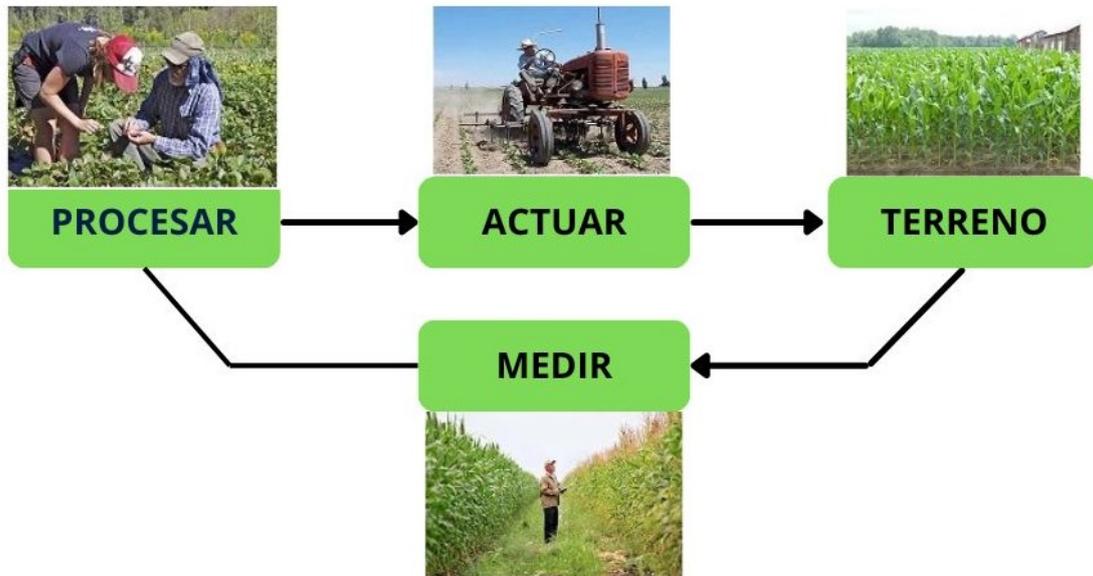


Figura 1: Uso de robots en tareas agrícolas [1]

El avance en la creación de robots agrícolas todoterreno con suspensión de bogie basculante puede generar oportunidades significativas para mejorar la sostenibilidad y la eficiencia en el sector agrícola de Ecuador, lo que podría ayudar a la producción y disminuir los efectos ambientales adversos. Uno de los principales elementos con respecto al funcionamiento de los robots en el ámbito de la agricultura, es que permiten mediante imágenes o videos reconocer el terreno y posteriormente dar paso a las órdenes y realizar alguna tarea específica, como son: aplicación de fertilizante, plaguicidas, recolección de muestras y riego, entre otras. Es por ello que se busca el desarrollo de un robot que pueda cumplir con tareas que beneficien al campo de la agricultura, y que puedan llevar a cabo una actividad o una serie de acciones sin recibir instrucciones directas, a través de la comunicación por radio frecuencia, que, al poder ser unificados, hacen que se creen opciones de interés para las personas dedicadas a los cultivos.

III. JUSTIFICACIÓN

La carencia de acceso a la tecnología representa un obstáculo para la adopción de prácticas agrícolas más modernas y sostenibles, lo cual incide directamente en los ámbitos agrícola, social y tecnológico. En este sentido, la implementación de un sistema embebido para el corte de maleza emerge como una alternativa que busca generar ingresos para aquellos sectores más necesitados, proporcionando oportunidades e iniciativas para mejorar su situación alimentaria y económica cotidiana.[2].

Este proyecto se origina con el propósito de fortalecer la utilización de robots automatizados, especialmente dirigidos a los profesionales agrícolas. El diseño y construcción de este robot se fundamenta en la topografía variada de nuestro entorno, que a menudo presenta terrenos con elevaciones significativas.

El desarrollo de esta iniciativa contribuirá a ofrecer soluciones a los desafíos de productividad y agricultura en comunidades con recursos limitados. Entre sus beneficios destacados se encuentra la reducción de la fatiga asociada al trabajo manual, al tiempo que se genera un impacto positivo en el medio ambiente, evitando el uso de cortadoras de maleza que emplean combustibles contaminantes y la necesidad de utilizar productos químicos para el control de la maleza[2].

IV. OBJETIVOS

IV-A. *Objetivo general*

Desarrollar un robot desbrozador todo terreno amortiguado mediante sistema Rocker <https://es.overleaf.com/project/65e91ec> y operado de forma remota por radiofrecuencia.

IV-B. *Objetivos específicos*

- Fabricar un robot desbrozador todo terreno que demuestre la viabilidad y utilidad en terrenos irregulares.
- Diseñar el sistema mecatrónico y el sistema de control teleoperado por radiofrecuencia del robot desbrozador todo terreno.
- Validar la relación costo/beneficio de la automatización para el sector agrícola con respecto a productividad del sistema.

IV-C. *Matriz de objetivos*

Tabla I: Matriz de objetivos

Plantamientos	Metas	Indicadores
Desarrollar un robot desbrozador que utilice el sistema Rocker-Bogie y pueda ser teleoperado por radiofrecuencia para garantizar un rendimiento óptimo en terrenos irregulares.	Lograr una eficiencia de desbroce del 90% en diferentes tipos de superficies difíciles de forma eficiente.	Se puede evaluar mediante pruebas de campo y observando si el robot desbrozador puede superar obstáculos y terrenos irregulares de manera efectiva.
Diseñar el sistema de control teleoperado por radiofrecuencia del robot desbrozador todo terreno.	Lograr un alcance de rango aproximado de 100 m, con la teleoperación de radiofrecuencia.	Rango de cobertura dependerá de la superficie para el radio de alcance.
Validar la relación costo/beneficio de la automatización para el sector agrícola con respecto a productividad del sistema.	Demostrar la viabilidad y utilidad del robot todo terreno en aplicaciones en terrenos irregulares cuyo nivel de desbrozamiento sea mayor a un 5% de una maquinaria agrícola.	Mejora significativa en la productividad del sistema agrícola mediante la implementación exitosa del robot, al calcular y comparar la productividad antes y después de la automatización.

V. MARCO TEÓRICO

V-A. Robots

Se hace referencia como robots a máquinas de funcionamiento generalmente automático que reemplazan la labor humana, pudiendo variar en forma y tamaño, ya sea asemejándose o no a seres humanos y animales, dependiendo de su función. Estos dispositivos son el resultado de la disciplina de la robótica, que constituye una rama de la ingeniería dedicada al desarrollo integral de tales máquinas [3].

En sus inicios, fueron concebidos para llevar a cabo tareas de ensamblaje en líneas de producción, siendo catalogados como de primera generación. Con el tiempo, la robótica ha evolucionado, generando modelos más avanzados y versátiles que permiten su aplicación en áreas más extensas [3].

V-B. Sistema mecánico

El componente fundamental de un robot capaz de desplazarse por terrenos desafiantes es su sistema mecánico. Este mecanismo emplea un sistema de suspensión denominado Rocker-Bogie, el cual está equipado con conexiones que tienen la capacidad de inclinarse o girar, tal como se muestra en la Figura 2

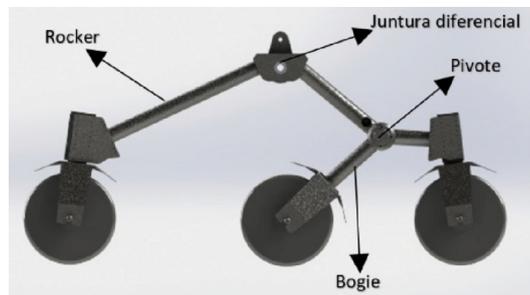


Figura 2: Sistema de suspensión Rocker-Bogie [4]

V-C. Bogie

Bogie se refiere a un conjunto de dos o tres pares de ruedas alineadas en ejes paralelos, que se emplean en secciones de vehículos largos. Además, tienen la tarea de sostener la estructura principal mediante un eje vertical. Este diseño mecánico es típico en vehículos destinados a circular sobre rieles, como se muestra en la figura 3.

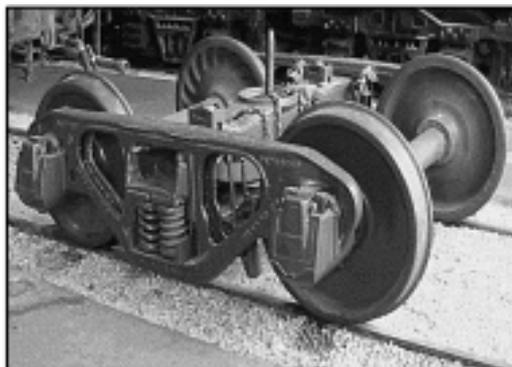


Figura 3: Bogie [5].

V-D. Sistema de suspensión Rocker-Bogie

El diseño del sistema de suspensión Rocker-Bogie incluye un bogie y un eje basculante que se vinculan al chasis del vehículo mediante un diferencial mecánico. Tanto la figura 4 como la 5 ilustran que los extremos del eje basculante están equipados con ruedas.



Figura 4: Adaptación del mecanismo Rocker-Bogie [6].

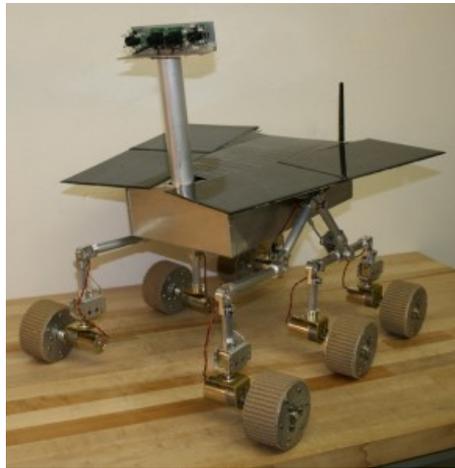


Figura 5: Spirit II- Mars Rover [6]

VI. ENGRANES

Hay cuatro categorías de engranajes: rectos, helicoidales, cónicos y sinfín. Estos dispositivos tienen la función de transferir movimiento y fuerza, generando momentos torsionales en los ejes correspondientes [7].

VI-A. Categorías de engranes:

Engranés rectos: Son aquellos que poseen dientes alineados en paralelo al eje de rotación, utilizados para transmitir movimiento entre ejes que se encuentran también paralelos, tal como se ilustra en la figura 6.

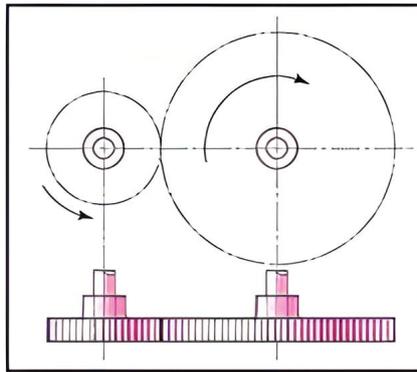


Figura 6: Engranes rectos [8].

Engranajes helicoidales: Se trata de un tipo de engranaje cuyos dientes están dispuestos en ángulo con respecto al eje de rotación, siendo utilizados en aplicaciones similares a los engranajes rectos. Su distinción radica en su menor nivel de ruido, ya que el acoplamiento de los dientes durante la transmisión es más gradual. Además, los engranajes helicoidales generan momentos de empuje y flexión que no están presentes en los engranajes rectos.

Engranes Cónicos: Estos dispositivos están equipados con dientes dispuestos en superficies cónicas y se utilizan principalmente para transmitir movimiento entre ejes que se entrecruzan. Pueden presentar dientes rectos o en espiral, como se muestra en la figura 7.

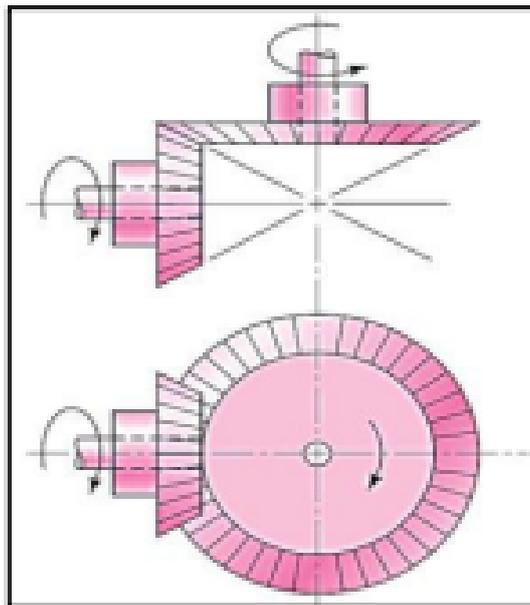


Figura 7: Engranes cónicos [8].

Tornillo sinfín o de gusano: Este dispositivo exhibe una configuración análoga a la de un tornillo, tal como se representa en la figura 8.

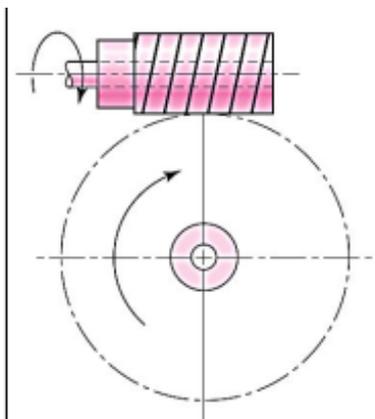


Figura 8: Engranes rectos [8].

VII. CONTROL MECÁNICO EN ROBOTS

La movilidad de los robots es crucial para evitar obstáculos y moverse eficientemente en el entorno. El trabajo es caótico. La estructura del sistema de control contribuye de manera especial a la movilidad general porque esto impacta directamente en las habilidades de posicionamiento y navegación del robot.

- *Esquemas de control de dirección en robots:*

Los métodos más habituales de dirección en robots móviles incluyen:

- **Derrape:** Este método no ofrece una orientación precisa para el eje, la cual se regula mediante la modificación de la velocidad de las ruedas en los extremos opuestos del chasis. La discrepancia de velocidad entre estas secciones determina el radio de giro y afecta el consumo de energía. Al emplear un chasis equilibrado con dos ruedas dispuestas de tal manera que giren a la misma velocidad, pero en direcciones contrarias, el robot puede girar alrededor de un único punto central, ya que el pivote coincide con el centro geométrico. Esta característica es especialmente beneficiosa para robots autónomos que operan en terrenos irregulares con espacio de maniobra reducido.
- **Dirección articulada:** El paso de enlace impactará el chasis y conectará las ruedas al pivote. Las articulaciones pueden ser activas o pasivas (sin movimiento motor). En una configuración pasiva, la dirección se logra bloqueando las ruedas del chasis en una sección para permitir que las ruedas motrices giren en otra sección. Esta disposición mejora enormemente el rendimiento del robot, pero también aumenta la presión sobre los escalones.
- **Dirección coordinada:** Este aspecto implica el uso de componentes de varillaje para asegurar la rotación de dos o más ruedas y ajustarlas a la geometría de la máquina. Un buen ejemplo de articulación es el volante Ackermann, que se utiliza ampliamente en la industria del transporte.
- **Dirección independiente:** Estas directrices implican la inspección exhaustiva de todas las ruedas. Este procedimiento permite un cambio de dirección fluido mediante el ajuste de la orientación angular del motor eléctrico. Además de tomar en cuenta la complejidad y precisión en el control de los actuadores, esta técnica se muestra particularmente ventajosa para la operación no planificada de robots móviles. Un aspecto fundamental de este sistema es su habilidad para direccionar el robot en una única dirección cuando las cuatro ruedas giran al mismo ángulo y en la misma dirección, tal como se muestra en la Figura 9.

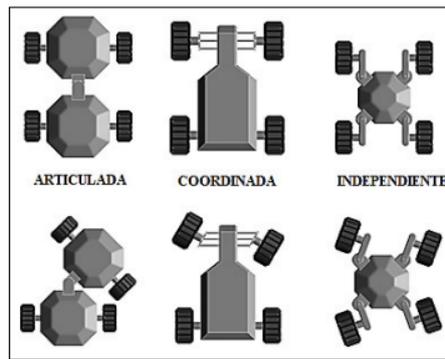


Figura 9: Geometrías de dirección [9].

VII-A. Sistema Eléctrico / Electrónico

El robot tiene cuatro servomotores para dirección y seis motores de CC para tracción, lo que le otorga la capacidad de rotar alrededor de su propio eje sin moverse en ninguna dirección en particular. Un microcontrolador, controles de velocidad del motor y sensores de detección de obstáculos forman parte del componente electrónico. Estas partes reciben señales, las decodifican en señales digitales y después de procesar las señales digitales y producir señales de control, las envían a un microcontrolador, como se ilustra en la figura 10.

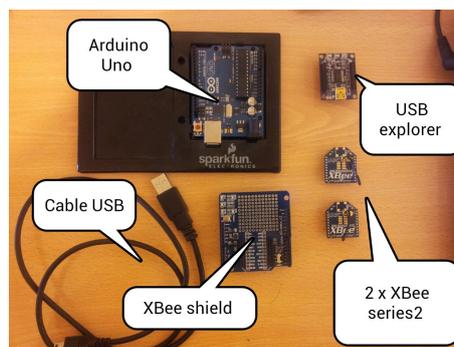


Figura 10: Comunicación inalámbrica con Xbee [10].

VII-B. Motores de corriente continua

Hay dos categorías principales de motores eléctricos: los de corriente continua (CC) y los de corriente alterna (CA). Ambos tipos convierten la energía eléctrica en energía mecánica. Las máquinas eléctricas tienen varias ventajas, como el bajo costo de la electricidad, la facilidad de transporte, el mantenimiento sencillo y una gestión eficiente. Además, se destacan por su estructura simple, costos bajos y capacidad para adaptarse a diferentes cargas, lo que proporciona una alta eficiencia energética.

Los motores CC suelen ser muy costosos que los motores de corriente CA, ya que requieren energía de CC o dispositivos para convertir la CA en CC. Considerando que el robot eléctrico funcionará con baterías que suministran energía CC, se optará por un motor de CA. La elección de estos motores suele basarse en la necesidad de controlar y sincronizar la velocidad y dirección del motor. Los motores de CC ofrecen la capacidad de ajustar la velocidad en un amplio rango, lo que facilita un control preciso y sencillo. Por lo tanto, se utilizan con frecuencia en situaciones donde se requiere un control específico, justificando los costos adicionales.

De acuerdo con los principios establecidos por la ley de Lorentz, el rendimiento de un motor de corriente continua se basa en la interacción entre el polo de un imán permanente y el campo magnético presente en el estator. Este dispositivo eléctrico, denominado rotor, tiene la capacidad de rotar libremente en torno a su eje o en torno al polo sur de otro imán permanente conocido como estator, tal como se muestra en la Figura 11.

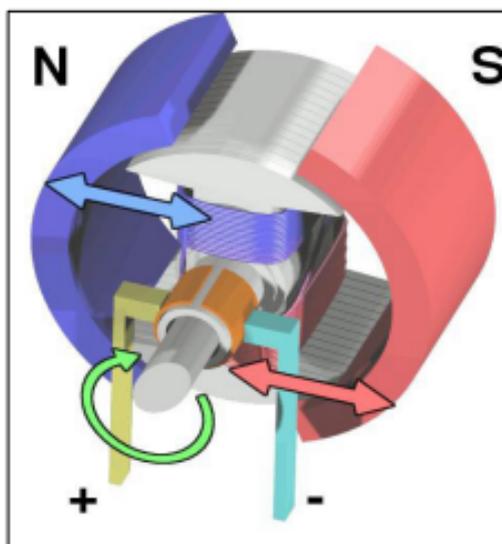


Figura 11: Rotor y estator de un Motor de corriente continua [11].

Los motores CC se categorizan según su conexión al circuito y su método de excitación independiente, lo cual determina su adecuación para diversas aplicaciones. La Tabla 2 que se presenta a continuación resume las ventajas y desventajas principales de cada tipo de conexión, tales como en serie, compuestos, en derivación, entre otros. Además de estos, en la electrónica moderna se utilizan otros tipos de motores de CC, como los motores paso a paso, los servomotores y los motores sin núcleo. Estas diversas variantes de motores ofrecen soluciones específicas para una amplia gama de aplicaciones en el ámbito electrónico.

Tabla II: Ventajas y desventajas de las conexiones de un motor de corriente continua

Conexión	Ventajas	Desventajas
Serie	Elevado par de arranque	Se dispara en vacío
Derivación	Más estable que el serie	Par de arranque débil
Compuesto	Rango de velocidad amplio con par constante	
Excitación Independiente	Par constante	Dos fuentes de alimentación

Servomotores: Los servomotores son motores eléctricos que pueden controlar la velocidad y la posición. Estos motores se pueden colocar en un cierto ángulo después de recibir la señal codificada. Aunque el servomotor es pequeño, es bastante potente debido al sistema de engranaje y piñón que contiene, como se muestra en la Figura 12.

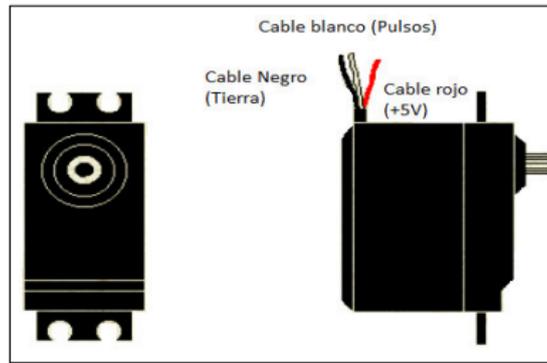


Figura 12: Servomotor [12].

Los servomotores son eficientes en el consumo energético debido a su capacidad para proporcionar potencia en proporción a la carga mecánica. Estos elementos suelen incorporarse en un circuito de control o una placa electrónica, donde un potenciómetro regula automáticamente el ángulo de rotación del motor a 180 grados. Sin embargo, en la actualidad, hay servomotores disponibles que permiten controlar tanto la posición como la velocidad en un rango completo de 360 grados, como se muestra en la Figura 13.

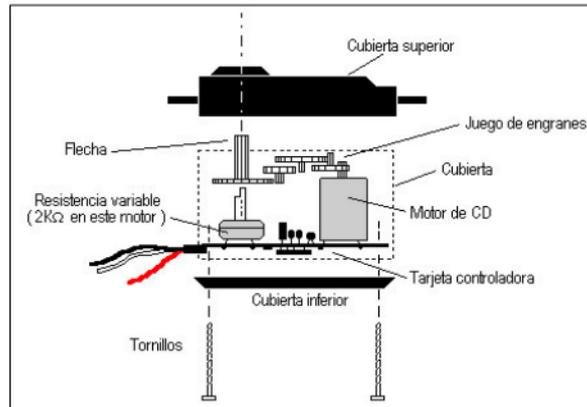


Figura 13: Estructura interna del Servomotor [13].

- **Funciones principales del servomotor:**

El servomotor está provisto de tres cables para su conexión eléctrica: Vcc, GND y un cable de control. Para operar el servo, es necesario enviar una secuencia de pulsos que determinan el ángulo de la posición deseada. La relación entre el ancho de estos pulsos y el ángulo se detalla de la siguiente manera: 1 ms corresponde a 0 grados, 2 ms corresponde al ángulo máximo (aproximadamente 120 grados), y cada valor intermedio proporciona un ángulo proporcional. Debido a posibles variaciones entre fabricantes, en la Tabla 3 se encuentran algunas especificaciones de cada proveedor de estos motores.

Tabla III: Especificaciones técnicas de los servomotores

Fabricante	Duración del Pulso (ms)			Frec. (Hz)	Color de cables		
	0°	90°	180°		(+)	(-)	Control
Futaba	0.9	1.5	2.1	50	Rojo	Negro	Blanco
Hitech	0.9	1.5	2.1	50	Rojo	Negro	Amarillo
Graupner	0.8	1.5	2.2	50	Rojo	Marrón	Naranja
Multiplex	1.05	1.6	2.15	40	Rojo	Negro	Amarillo
Robbe	0.65	1.3	1.95	50	Rojo	Negro	Blanco
Simprop	1.2	1.7	2.2	50	Rojo	Azul	Negro



Figura 14: Motor paso a paso [14]

- **Motores paso a paso:**

Estos motores están especialmente diseñados para procesos de fabricación que requieren un alto rendimiento. Su mejor característica es su capacidad de avanzar paso a paso por cada golpe recibido. El tamaño de este paso puede variar desde tan solo 90° de movimiento hasta tan solo 1,8° de movimiento. Por ejemplo, en el primer caso (90°) se necesitan 4 pasos para completar una rotación de 360°, mientras que en el segundo caso (1,8°) se necesitan 200 pasos. Básicamente, estos motores tienen un rotor con múltiples imanes permanentes y un estator con múltiples bobinas. Como se muestra en la Figura 14, las bobinas del estator son importantes para el control ya que el rotor está configurado como un imán permanente y todas las operaciones de conmutación deben ser controladas por el controlador.

Existen dos categorías de motores paso a paso de imanes permanentes: los bipolares y los unipolares. Los motores bipolares típicamente constan de 4 componentes eléctricos y requieren una eficiente gestión debido a la necesidad de invertir la dirección de la corriente que fluye a través de las bobinas en una sección específica. Por otro lado, los motores unipolares generalmente poseen 5 o 6 salidas, dependiendo de la configuración, y se distinguen por su fácil manipulación y control.

- **Funcionamiento básico de los motores paso a paso:**

Como se ha señalado previamente, resulta fundamental que la corriente circule en sentido contrario a través de las bobinas de estos motores. Cada alteración en la polaridad ocasiona un avance en la rotación del eje, cuya orientación está determinada por el sistema específico siguiente. La Tabla 4 que se presenta a continuación detalla el sistema necesario para controlar un motor paso a paso bipolar.

Tabla IV: Sistemas de control para motores bipolares.

PASO	TERMINALES			
	A	B	C	D
1	+V	-V	+V	-V
2	+V	-V	-V	+V
3	-V	+V	-V	+V
4	-V	+V	+V	-V

Para operar motores paso a paso unipolares, se pueden emplear tres secuencias distintas, que se describen a continuación.

Tabla V: Secuencia Normal y Wave Drive para motores unipolares

PASO	BOBINA A	BOBINA B	BOBINA C	BOBINA D	PASO	BOBINA A	BOBINA B	BOBINA C	BOBINA D
1	ON	ON	OFF	OFF	1	ON	OFF	OFF	OFF
2	OFF	ON	ON	OFF	2	OFF	ON	OFF	OFF
3	OFF	OFF	ON	ON	3	OFF	OFF	ON	OFF
4	ON	OFF	OFF	ON	4	ON	OFF	OFF	ON

Cada secuencia reinicia desde el paso 1 una vez que se llega al paso final. Para cambiar la dirección de rotación, solo es necesario ejecutar las secuencias en orden inverso.

- **Secuencia de medio paso para motores unipolares:** Es esencial tener en cuenta tanto el tiempo como la frecuencia de los pulsos de aplicación debido a la inercia inherente en los motores paso a paso. Cuando la frecuencia de los pulsos es demasiado alta, el motor puede reaccionar de diversas maneras, desde la falta de movimiento hasta la generación de vibraciones sin rotación, movimientos erráticos o incluso retrocesos.
- **Identificación de cables en motores paso a paso:** Para determinar las bobinas del motor bipolar (llamadas A, B, C y D), es necesario aplicar el voltaje correspondiente (generalmente 12 voltios). Primero, conecte uno de los cables restantes a tierra y luego conecte el otro, observando los resultados. Seleccione una línea y conéctela a tierra, comenzando con la línea A. Mantenga el cable A conectado a tierra y observe cuál de los cables restantes muestra una respuesta negativa cuando se conecta a tierra; confirme si es el cable B. Luego, con el cable A conectado a tierra, seleccione la línea D en el siguiente paso de marcado del tiempo. El último cable debe ser el de la bobina C; esto se verifica simplemente poniéndolo a tierra sin moverlo, ya que corresponde al paso A según se ilustra en la Figura 15.

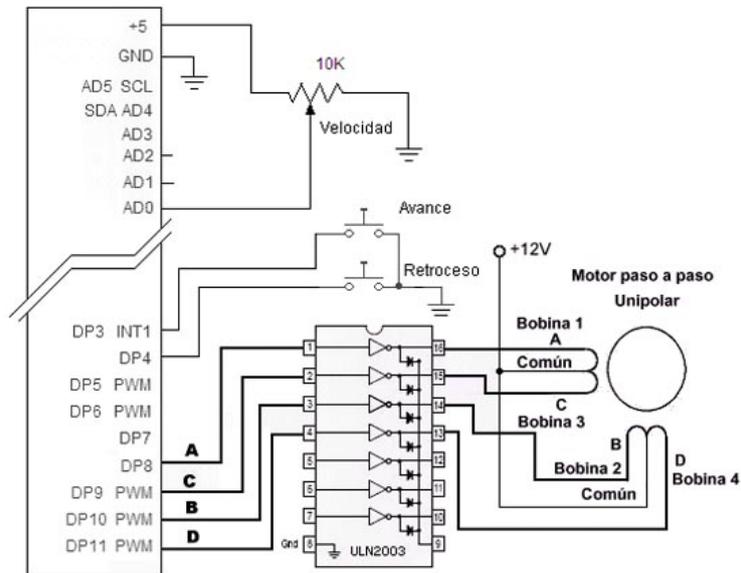


Figura 15: Identificación de cables de motor paso a paso de tipo unipolar [15].

La función de identificar los motores paso a paso bipolares resulta relativamente simple. Mediante el uso de un multímetro en modo ohmímetro, es posible discernir fácilmente los pares de cables asociados a cada bobina, ya que debe existir continuidad eléctrica entre ellos. Una vez hecho esto, solo resta determinar la polaridad de la bobina, un procedimiento que se realiza mediante ensayo y error. En resumen, si el mecanismo de arranque no responde, sustituimos el cable de una de las bobinas y debería funcionar correctamente.

Tabla VI: Pros y contras de un servomotor y de un motor paso a paso

SERVOMOTOR	MOTOR PASO A PASO
VENTAJAS	
Alto rendimiento	Estable
Control en lazo cerrado	Control en lazo abierto
Alto torque	Bajo costo
Potencia proporcional a la carga	Fácil uso y manejo
Silencioso	Seguro
Operación libre de vibración	Excelente torque a baja velocidad
Alto torque a altas velocidades	Longevidad
DESVENTAJAS	
Costo relativamente alto	Baja eficiencia
Requiere calibración	Torque decae con la velocidad
Mayor complejidad de construcción	Propenso a problemas de resonancia
Sobrecarga dañan el motor	Perdida de pasos
Engranajes para alto torque	Recalentamiento

- **Regulación de la Velocidad en Motores de CC**

La velocidad de un motor de CC está directamente relacionada con el voltaje aplicado a sus terminales y de manera inversa proporcional al flujo magnético, el cual está influenciado por la corriente.

Para abordar este tema, es posible ajustar la velocidad del motor mediante cambios en el voltaje o mediante la introducción de una resistencia. No obstante, ambas estrategias tienen inconvenientes importantes; el primero disminuye el torque del motor, mientras que el segundo conlleva pérdidas de energía en forma de calor. Por consiguiente, la técnica más comúnmente empleada es la Modulación por Ancho de Pulso (PWM).

- **Modulación por ancho de pulsos (PWM):**

La PWM implica variar la duración del ciclo de trabajo de una señal para transmitir datos o ajustar la transferencia de energía según la carga.

Este método se emplea para controlar la velocidad del motor con un torque constante, alternando entre periodos de señal alta (encendido) y periodos de señal baja (apagado). Usualmente, este control se lleva a cabo mediante dispositivos electrónicos de baja frecuencia o MOSFET y tiristores de alta frecuencia.

Además, la técnica de modulación por ancho de pulso se emplea para controlar la posición de los servomotores, adecuando su ubicación según la duración del pulso enviado en cada ciclo, la cual varía de acuerdo a las particularidades de cada servomotor, como se ilustra en la figura 16.

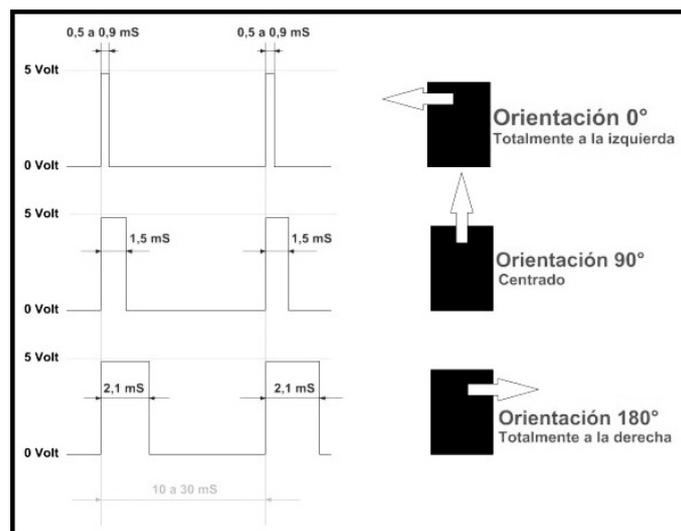


Figura 16: Generación de pulsos para un Servomotor [16].

- **Control de la dirección del motor de CC:**

Hay muchas formas de cambiar la dirección de rotación de los motores utilizando dispositivos combinados y de aislamiento, como relés y transistores.

- **Control de la rotación mediante componentes discretos:**

Una alternativa práctica para invertir la dirección de rotación de un motor de corriente continua es emplear un dispositivo electrónico equipado con una fuente de alimentación dual o paralela que disponga de dos puertos. Asimismo, otra opción viable es hacer uso de una fuente de cuatro contactos, tal como se ilustra en la figura 17.

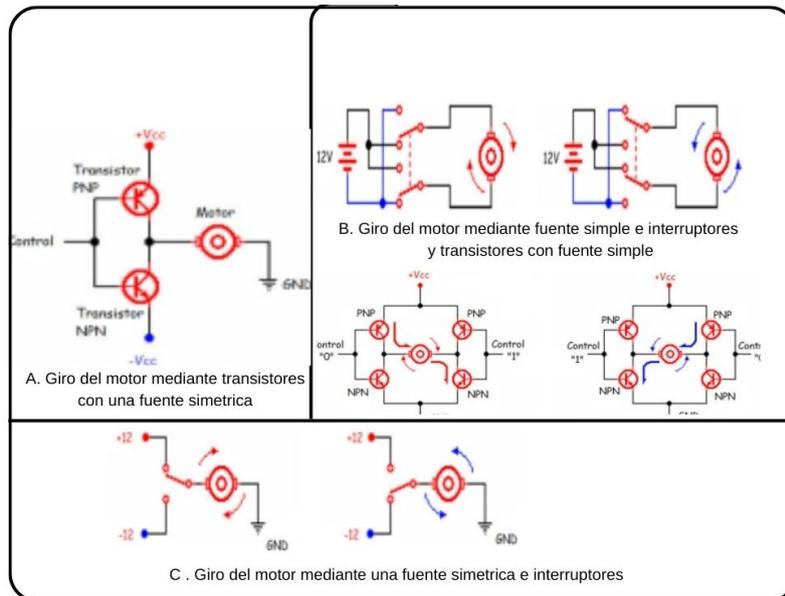


Figura 17: Giros del motor mediante transistores con fuentes sinemétricas simples e interruptores[17]

La siguiente tabla comparativa muestra las ventajas y desventajas de los relés y transistores, así como los factores a considerar al diseñar un circuito para controlar un motor.

Tabla VII: Contraste entre los relés y transistores

ELEMENTO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Relé	Robustos	Respuesta lenta
	Aislamiento de circuitos	Desgaste mecánico
	Económico	Voltaje de control
	Funcionamiento simple	y voltaje de potencia
	Voltajes AC- DC	
Transistor	Larga Vida	Solo corriente directa
	Respuesta rápida	Temperatura limitada
	Amplificación de señal análoga	No brindan aislamiento
		Mayor costo

Este esquema utiliza una configuración de transistores y componentes electrónicos simples, comúnmente denominada puente H, aunque en realidad es más compleja de lo que sugiere su nombre. Este concepto es fundamental para el funcionamiento eficaz de los controladores de motores.

El puente H es un componente electrónico elaborado con el propósito de posibilitar el movimiento bidireccional de un motor de corriente continua, permitiendo su funcionamiento tanto en dirección hacia adelante como hacia atrás. Su denominación, "puente H", se origina de su configuración gráfica que se asemeja a la letra H.

El circuito del puente H se compone de cuatro interruptores, que pueden ser de tipo mecánico o electrónico. Al cerrar los interruptores S1 y S4 mientras se mantienen abiertos los interruptores S2 y S3, se suministra un voltaje positivo al motor, provocando su rotación en una dirección específica. Al contrario, al abrir los interruptores S1 y S4 y cerrar los interruptores S2 y S3, se invierte el voltaje, lo que permite que el motor gire en sentido opuesto, tal como se muestra en la Figura 18.

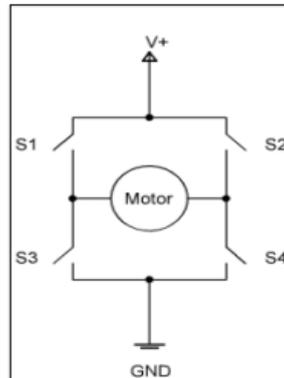


Figura 18: Circuito electrónico Puente H [18].

- **Control de movimiento integrado:**

Los circuitos integrados representan una alternativa eficaz para controlar la actividad de los motores de CC. Estos componentes facilitan la generación de energía al integrar múltiples circuitos de puente H en un solo dispositivo. Entre los chips más populares disponibles en el mercado se encuentran el UCN5804, BA6286, L293B, L293D, L297, L298, ULN2808 y ULN2003, siendo el L293 especialmente reconocido. Este chip ofrece cuatro canales con las siguientes especificaciones: cada canal es capaz de transmitir hasta 1 amperio, cuenta con retroalimentación de motor independiente y es compatible con señales TTL de 5 voltios. Además, cada canal puede funcionar de manera autónoma o en pares, mediante su terminal individual, a partir de un terminal de habilitación, tal como se ilustra en la Figura 19.

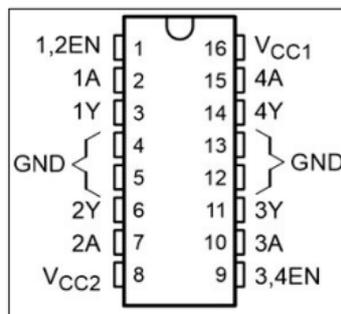


Figura 19: Circuito Integrado L293 [19].

La Figura 22 muestra el comportamiento lógico en el que la señal de entrada 1,2EN activa dos rutas de integración en estado alto (fase H); Esto permite que la salida Yn tenga efecto sobre el valor de la entrada I y viceversa en el caso de terminales. 1,2TR , En el nivel bajo (nivel L), la salida permanece en alta impedancia Z, deshabilitando así la entrada independientemente de su estado, como se muestra en la Figura 20.

INPUTS†		OUTPUT Y
A	EN	
H	H	H
L	H	L
X	L	Z

Figura 20: Lógica de funcionamiento para el driver L293 [19].

Los pines Vcc1 y Vcc2 actúan como puntos de alimentación. Vcc1 alimenta los 4 controladores, mientras que Vcc2 puede necesitar hasta 36 voltios para alimentar el motor. Se requiere un voltaje más alto (llamado "controlador") para manejar corrientes muy altas (9 a 25 amperios). Este dispositivo utiliza una combinación de transistores Mosfet (como el IR7862) y circuitos de puente H. Debido a que estos altos voltajes producen calor, algunos fabricantes de estos controladores incluyen disipadores de calor como se muestra en la Figura 21.



Figura 21: Driver de motores de corriente continua de 9A [20].

Las ventajas primordiales de los transistores Mosfet radican en su eficiencia energética gracias a su bajo consumo de voltaje y corriente, así como en su capacidad para manejar altos niveles de corriente y voltaje con baja impedancia eléctrica. Además, su diseño ligero y la integración de diodos de protección los hacen ideales para aplicaciones en robótica. Es relevante mencionar que carecen de componentes perjudiciales como el plomo, como se ilustra en la figura 22.

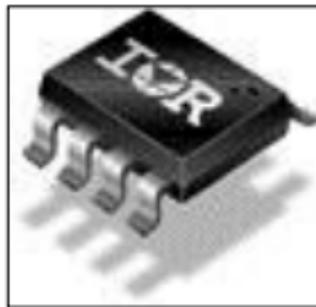


Figura 22: Transistor Mosfet IR7862 [21].

- **Sensores de proximidad y presencia**

Los sensores de proximidad son dispositivos que convierten la presencia o proximidad de un objeto o señal en una señal eléctrica. Existen diferentes tipos de sensores de proximidad que funcionan en diferentes sistemas. Los transductores más utilizados son los detectores capacitivos, inductivos, fotoeléctricos y ultrasónicos.

- **Interruptores de posición:**

Un conjunto de dispositivos electrónicos está equipado con un dispositivo de control de posición o un sensor de contacto, comúnmente conocido como interruptor de posición. Estos dispositivos pueden ser de naturaleza eléctrica, neumática o intrínseca, y se colocan al final del recorrido de la mercancía, como por ejemplo en una cinta transportadora, con el fin de enviar señales que modifican el estado del proceso. Pueden ser del tipo Normalmente Abierto (NA), Normalmente Cerrado (NC), o tener una modalidad de conmutación dependiendo de la función que desempeñan al activarse internamente. Esta diferenciación explica la diversidad de interruptores de posición disponibles en el mercado, como se muestra en la Figura 23.



Figura 23: Interruptor de posición [20].

Tabla VIII: Ventajas y desventajas de los interruptores de contacto

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Fácil instalación	Velocidad de detección
Robustez	Posibilidad de rebotes
Soporta altas tensiones	Requieren fuerza de actuación

- **Sensores capacitivos:** Un sensor capacitivo es un sensor eléctrico que funciona cuando los materiales metálicos y no metálicos alcanzan su punto de funcionamiento y exceden su capacidad eléctrica. Cuanto mayor sea la constante dieléctrica de un material, más podrá abrirse. Estos sensores cuentan con un oscilador cuyo potencial está conectado a la tensión interna y la tensión externa a tierra. La energía externa puede venir en dos configuraciones diferentes: en algunas aplicaciones, la fuente de energía es el propio objeto detectado, lo que provoca un cambio eléctrico dependiendo de la distancia entre el sensor y el objeto. En otros casos, asegúrese de una posición fija y coloque el material dieléctrico a detectar en una placa grande, el sensor de presión, como se muestra en la Figura 24.



Figura 24: Lógica de funcionamiento para el driver L293 [17].

- Sensor Inductivo:** El sensor inductivo despliega su capacidad para detectar la presencia de productos de metales ferrosos, siendo de uso extendido tanto en la industria como en aplicaciones comerciales. Su versatilidad permite la detección de presencia o ausencia de estos materiales en diversas situaciones, como en la inspección de canales, resolución de problemas, codificación y conteo. Estos sensores, equipados con devanados internos, generan un campo magnético cuando la corriente atraviesa el devanado. El cambio en el voltaje, tal como se ilustra en la figura 25, Sucede cuando un objeto se aproxima a dicho campo magnético.

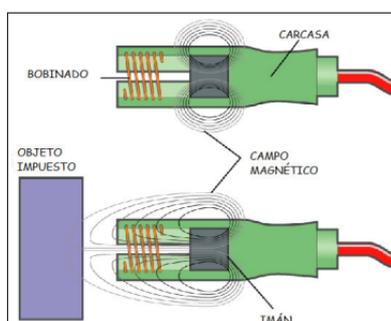


Figura 25: Sensor Inductivo [22].

A continuación, se detallan los aspectos favorables y desfavorables más relevantes relacionados con los sensores capacitivos e inductivos:

Tabla IX: Ventajas y desventajas de sensores capacitivos e inductivos

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Detección sin contacto físico	Corto alcance
Adaptación a entornos industriales	Requiere calibración
Larga vida	

- Sensores Fotoeléctricos:** Los receptores de infrarrojos suelen contener cristales fotoeléctricos o fotodiodos. Estos dispositivos electrónicos detectan la radiación infrarroja emitida por el objeto. Aunque esta radiación no es perceptible para el ojo humano, puede ser identificada por este dispositivo electrónico. Hay dos categorías de sensores infrarrojos: pasivos y activos. Los sensores pasivos emplean exclusivamente fototransistores para captar la presencia de un objeto mediante la detección de la radiación infrarroja emitida por éste. Por otro lado,

los sensores activos utilizan tanto un emisor de luz infrarroja como un receptor, que puede ser un fototransistor, como se ilustra en las figuras 26 y 27.



Figura 26: Sensor Infrarrojo [23].

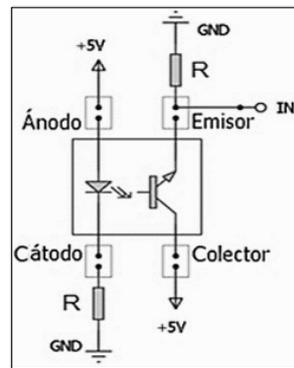


Figura 27: Esquema eléctrico de un sensor infrarrojo [24].

- **Sensores Ultrasónicos:** Un sensor ultrasónico es un dispositivo de detección sin contacto que puede identificar objetos a distancias de hasta 8 metros. Funciona emitiendo una señal acústica y luego calculando el tiempo que tarda esa señal en viajar hacia el objeto y regresar al sensor. Cuando el objeto recibe la señal sonora, el sensor la detecta y la convierte en una señal eléctrica. Esta conversión se realiza típicamente en entornos de laboratorio. Estos sensores son capaces de detectar una amplia variedad de objetos, independientemente de su forma, color, textura o material, siempre y cuando reflejen el sonido. La eficacia de estos sensores está determinada por la precisión en la medición del tiempo requerido para detectar el eco, es decir, la diferencia de tiempo entre la emisión del pulso y la recepción del eco, como se ilustra en la figura 28.

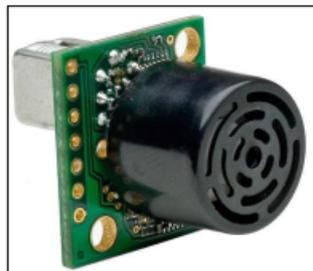


Figura 28: Sensor Ultrasónico [25].

Tabla X: Ventajas y desventajas de sensores ultrasónicos

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Sensor no intrusivo	Presencia de partículas puede interferir
Medición continua	La espuma puede afectar medición
Menor mantenimiento	Medición afectada por movimientos
Para todo tipo de materiales	

■ Medición de velocidad angular

Hay muchas formas de medir la aceleración utilizando una variedad de sensores, ya sean digitales o analógicos. Estos incluyen tacómetros, codificadores, detectores de inducción, giroscopios y transformadores diferenciales variables giratorios (RVDT). Dado que los tacómetros analógicos carecen de capacidad para ofrecer detalles sobre la posición o dirección de rotación, nuestra atención se enfocará en las propiedades fundamentales del codificador.

VII-C. Sistema de Control

Un microcontrolador que recibe las señales de los sensores controlará el robot, procesará la información y tomará acciones adecuadas utilizando los actuadores del robot, asegurando así que siga sus movimientos y cumpla con sus funciones específicas de diseño.

Los motores del robot tienen un torque y velocidad suficientes para facilitar su movilidad, y serán controlados mediante las señales PWM que están sincronizadas por el sistema de control.

Se creará una estación de monitoreo orientada al operador, o HMI en inglés, utilizando el software LabVIEW, donde el operador podrá ver en tiempo real la transmisión de la cámara inalámbrica. Al hacer esto, el usuario tendrá control remoto sobre el robot., aprovechando un conjunto de tecnologías que hacen posible la telepresencia. El usuario experimentará telepresencia, dándole la impresión de que está presente en un lugar distinto al que realmente está, como se muestra en la figura 29.

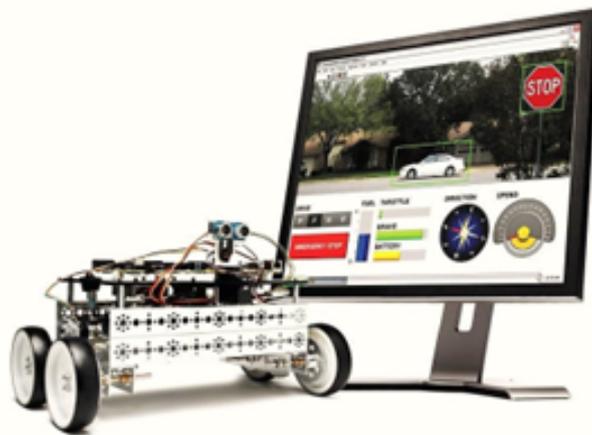


Figura 29: LabVIEW para Robótica [26].

VII-D. Sistema de control en lazo cerrado

Los sensores tienen señales de entrada que incluyen: distancia al objeto, inclinación del vehículo, velocidad de conducción y magnitud del vector, estas son las mismas señales necesarias para controlar el robot.

Al apuntar principalmente a un actuador o una variable que representa la salida, las acciones, las variables se pueden ajustar y así cambiar el comportamiento de la acción.

Todas las transformaciones de datos requieren el uso de sistemas de control de retroalimentación o de circuito cerrado, ya que el controlador debe recibir datos de los sensores, compararlos con variables predefinidas y enviar señales de control a los valores apropiados que permitan al robot realizar la tarea.

Este tipo de sistema de control se puede utilizar para controlar la velocidad de un motor de CC mediante un sensor llamado codificador.

De esta forma, es posible sincronizar las velocidades de todas las ruedas motrices, evitando derrapes y giros equivocados, que perjudican la maniobrabilidad del vehículo, como se muestra en la figura 30.

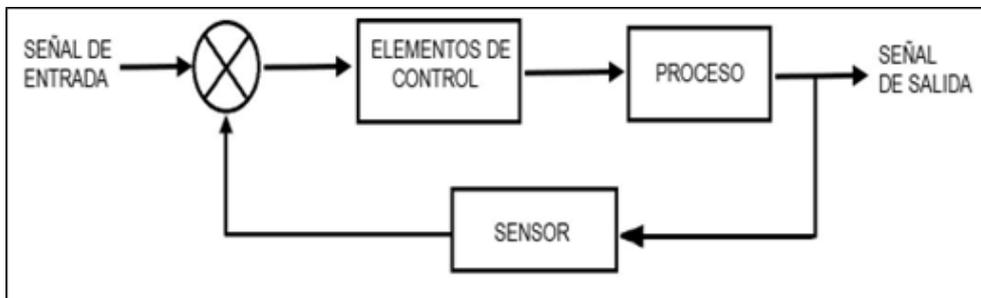


Figura 30: Sistema de control [27].

VII-E. Robótica

La tele manipuladores, que fueron creados con el fin de manipular materiales radiactivos peligrosos para los operadores, fueron los precursores más directos de los robots. Un sistema automatizado maestro-esclavo formó la primera tele manipulador. No en vano, los tele manipuladores han evolucionado con el tiempo y su funcionalidad ha cambiado poco desde su creación.

Pero la idea de sustituir al operador por un programa informático para controlar el movimiento del manipulador dio paso al concepto moderno de robótica como se muestra en la figura 31 y 32[28].

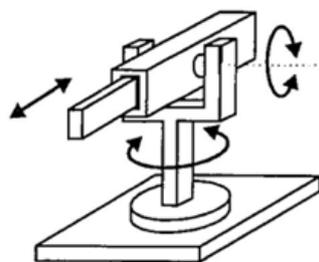


Figura 31: Robot esférico o polar [28].

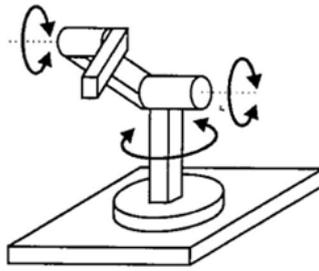


Figura 32: Robot esférico o polar [28].

La gestión automatizada de instalaciones forma parte de la agricultura de precisión y tiene como objetivo gestionar la agricultura reduciendo costes, tiempo y recursos. Usar herramientas de manejo de malezas es una mejor manera de reducir el uso de pesticidas en la agricultura de precisión [29].

La investigación en robótica se ha centrado en resolver el problema de las malas hierbas, ya sea en los negocios o en la agricultura. Por ello, han surgido muchos robots que tienen como objetivo combatir y solucionar este problema utilizando la tecnología. Por ejemplo, el robot creado por Naïo Technologies no sólo se hace cargo de las instalaciones, sino que también realiza una alta fumigación para reducir el uso de químicos. Aunque no existe una definición universalmente aceptada de lo que constituye un teléfono móvil, generalmente se entiende como un dispositivo que puede controlar el movimiento para realizar una variedad de tareas de diversas maneras. Estos robots se pueden encontrar en empresas, el ejército, la medicina, la búsqueda y rescate y edificios donde realizan tareas como limpieza y cuidado del césped. Sus principales características son la capacidad de trabajar en un entorno diferente y desconocido y de adaptarse a los cambios en las interacciones con personas y animales. Por ejemplo, las aspiradoras autónomas y los automóviles que se conducen de forma autónoma son ejemplos de robots móviles [30].

El éxito inicial y la supervivencia de la población forestal a menudo dependen de la capacidad de las plantas para echar raíces o crecer en su hábitat natural. Un factor importante que influye en este proceso es la interacción de nuevas plántulas con plantas existentes o futuras en el área de repoblación. En las relaciones entre plantas, existen dos preocupaciones particulares durante la reproducción: la conveniencia y la competencia[31].

La agricultura de Ecuador es el fundamento de la economía nacional y está en proceso de experimentación de un crecimiento significativo. La empresa está en constante evolución y explora nuevas posibilidades en las que la tecnología juega un papel importante. Incluye muchos diseños, electrónica y comunicaciones para las diferentes etapas de los cultivos como siembra, cosecha y poscosecha. Estas tecnologías incluyen la agricultura de precisión, el uso de dispositivos de medición para el seguimiento continuo de los cultivos, sistemas de comunicación para la actualización de la información, el espacio global, imágenes satelitales, software especial y conexiones a Internet. Pero los nuevos proyectos en agricultura no siempre tienen éxito porque los expertos en el campo a menudo desconfían de las formas de cambiar, ralentizar o revertir los procedimientos estándar[32].

En la tercera fase del proyecto se propone crear comunicación en robots móviles basándose en el diseño. El objetivo es utilizar comunicación inalámbrica entre la plataforma del robot móvil (NI LabView Robotics DaNI) y el operador. El sistema permitirá al robot alejarse de lugares inaccesibles bajo la supervisión de un operador de red inalámbrica que transmite vídeo en directo desde la plataforma del robot[33].

Este artículo describe principalmente el software y hardware responsables del control y la comunicación entre robots y computadoras. La primera parte muestra la red del microcontrolador, la segunda muestra la comunicación entre la plataforma y la PC a través del emulador USB y la tercera muestra el software de interfaz de usuario. El Capítulo 4 presenta la evaluación y el desempeño, y el Capítulo 5 analiza el desempeño y el futuro. Finalmente se dan los resultados[33].

VIII. MARCO METODOLÓGICO

En este proyecto se creará un robot terrestre controlado de forma inalámbrica, que utiliza tijeras como herramienta de corte y que lo contiene todo, potencia y área de control. El objetivo es crear una estructura completa formada por una única versión y sus componentes mediante un proceso de mecanizado preciso y materiales y herramientas de producción seleccionados. Se emplearán sensores ultrasónicos para transmitir señales al centro de control, donde serán analizadas y posteriormente enviadas a actuadores, como motores de corriente continua y servomotores. Además, se integrará un módulo de visión y comunicación inalámbrica para permitir el control remoto del robot.

VIII-A. Diagrama de flujo de teleoperación.

En este diagrama se observa la recepción de señales por radiofrecuencia al pulsar los joystick del control remoto hacia el robot desbrozador

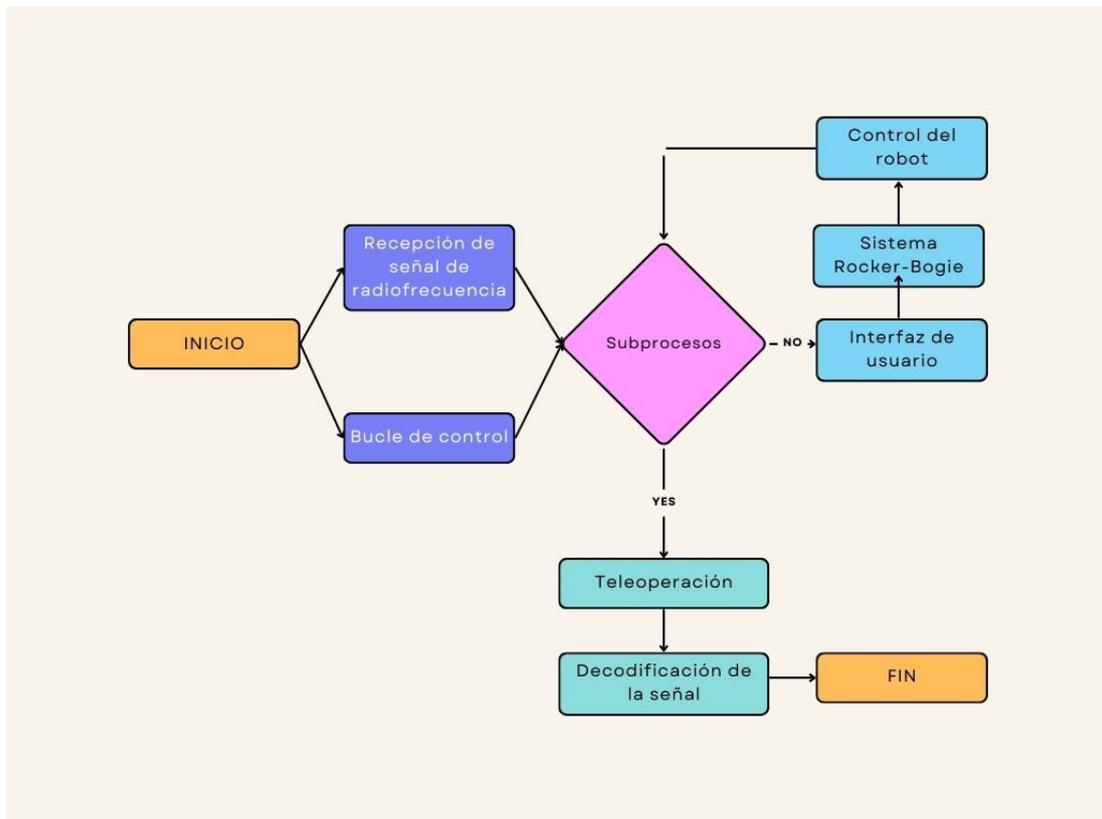


Figura 33: Diagrama de flujo teleoperación [34]

VIII-A1. Diagrama de flujo de señal: En este diagrama se demuestra la señal que reciben las placas por medio del control remoto, si recibe señal el servomotor el desbrozador enciende, sino recibe señal Error de enlace, si recibe señal los motores paso a paso el robot avanza, sino recibe señal los motores paso a paso Error de enlace.

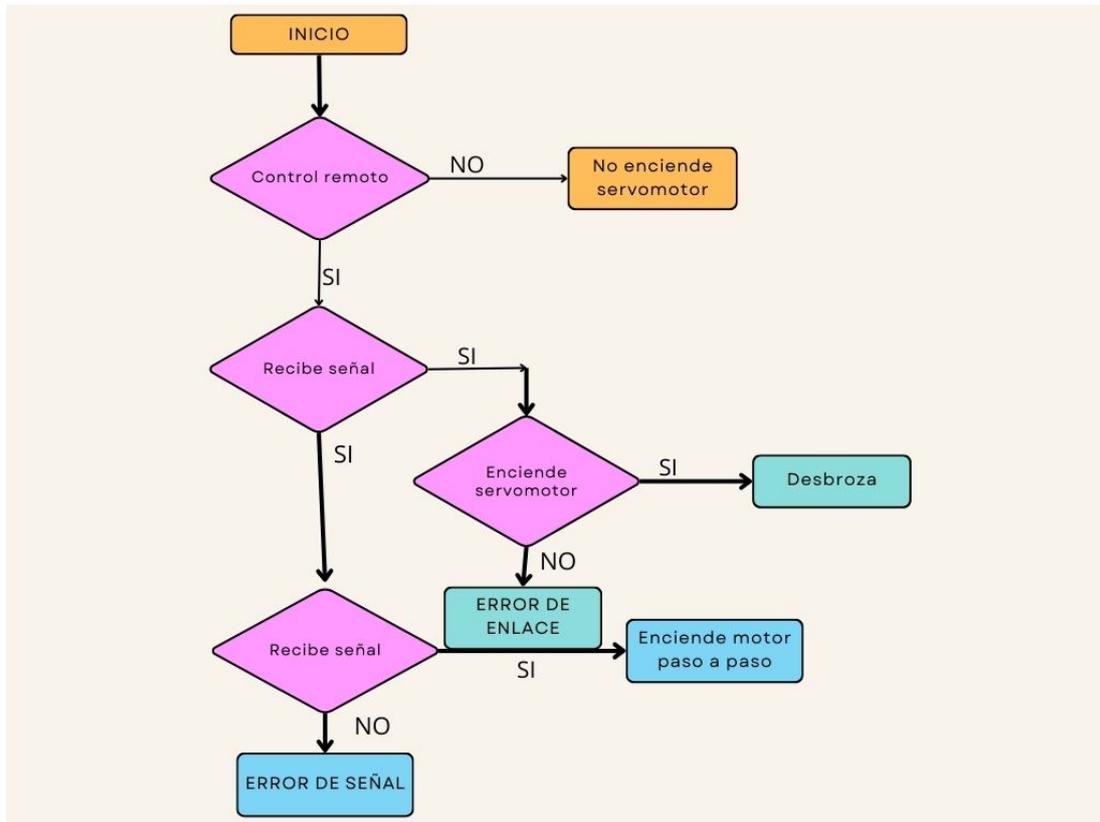


Figura 34: Diagrama de flujo de Señal [34]

El desarrollo de un robot desbrozador implica una cuidadosa planificación y ejecución de la metodología para asegurar resultados confiables y significativos.

Diseño y Construcción del Robot Desbrozador Definir los requisitos y especificaciones del robot desbrozador en función de los objetivos de la investigación. Seleccionar componentes adecuados, como motores, sensores, sistemas de navegación y herramientas de desbroce. Diseñar y construir el robot desbrozador de acuerdo con las especificaciones establecidas, utilizando herramientas y técnicas de ingeniería y fabricación.

Implementación de la Inteligencia y Control

Desarrollar algoritmos y software para la navegación autónoma del robot en el entorno de desbroce. Implementar sistemas de control para la operación de los motores, servomotores y herramientas de desbroce. Integrar sistemas de percepción para la operación por radiofrecuencia.

IX. RESULTADOS

Se evidenció una mejora del 75 % en la eficiencia del desbroce en superficies inestables de manera efectiva, gracias a la capacidad del robot para adaptarse a diversos tipos de terreno sin comprometer su rendimiento. Además, se logró un alcance de 100 metros mediante la teleoperación por radiofrecuencia, demostrando así la viabilidad y utilidad del robot desbrozador todo terreno. Esto se tradujo en una reducción del tiempo requerido para completar las tareas de desbroce, lo que a su vez incrementó la productividad del equipo.

Se seleccionaron varios tipos de terreno representativos de las condiciones en las que el robot desbrozador podría operar, incluyendo superficies planas, terrenos irregulares y áreas con obstáculos como rocas y vegetación densa.

Se diseñaron y llevaron a cabo pruebas controladas para evaluar la estabilidad, capacidad de maniobra y eficiencia del robot desbrozador con suspensión Rocker-Bogie.

Se registraron datos relevantes durante las pruebas, como el tiempo necesario para completar una tarea de desbroce, la cantidad de obstáculos superados y la precisión del desbroce en diferentes terrenos.

Estabilidad Mejorada: La suspensión Rocker-Bogie demostró una notable capacidad para mantener la estabilidad del robot desbrozador en terrenos irregulares y al superar obstáculos. Esto se tradujo en una operación más suave y segura, minimizando el riesgo de vuelcos y daños al equipo.

Maniobrabilidad Mejorada: El diseño de la suspensión permitió que el robot cortador de maleza pudiera superar obstáculos más grandes y complejos con mayor facilidad, lo que se tradujo en una mejora sustancial de su capacidad de maniobra en terrenos difíciles.

Eficiencia Aumentada: Se evidenció una optimización en la eficacia del proceso de desbroce gracias a la habilidad del robot para ajustarse a distintos tipos de terreno sin afectar su desempeño. Esta mejora se reflejó en una disminución del tiempo requerido para llevar a cabo las tareas de desbroce, lo que, a su vez, incrementó la productividad del equipo.

Durabilidad Incrementada: La suspensión Rocker-Bogie ayudó a reducir el desgaste y el daño en los componentes del robot desbrozador al absorber los impactos y las vibraciones del terreno. Esto sugiere una mayor durabilidad y vida útil del equipo en comparación con diseños de suspensión convencionales.

La suspensión Rocker-Bogie es un diseño comúnmente utilizado en vehículos todo terreno y robots exploradores debido a su capacidad para mantener la estabilidad en terrenos irregulares. Sin embargo, los resultados específicos obtenidos al realizar pruebas de un robot desbrozador con este tipo de suspensión pueden variar dependiendo de varios factores, como el diseño del robot, la calidad de la suspensión, el tipo de terreno en el que se realizan las pruebas, entre otros.



Figura 35: Robot desbrozador [35]

X. CONCLUSIONES

Mediante un análisis exhaustivo de factores como potencia, fuerza y velocidad, es posible identificar los actuadores y controladores más idóneos para llevar a cabo las funciones requeridas por el robot desbrozador con sistema amortiguado Rocker-Bogie. La utilización de un sistema de radiofrecuencia facilita una orientación fluida sobre la superficie de trabajo, lo que respalda nuestra conclusión de que la selección de componentes es la elección adecuada.

En la implementación del prototipo en diversos escenarios, resulta fundamental ubicarlo en un extremo del área como punto de inicio y referencia. Asimismo, es esencial variar el enfoque en la dirección de desbroce, evitando un patrón constante, y considerar la modificación del diseño, la posición y los puntos de partida de corte para mitigar los problemas de crecimiento en el terreno.

Precisión y Eficiencia en el Desbroce: El sistema de control por radiofrecuencia permitió una operación precisa y eficiente del robot desbrozador, lo que resultó en un desbroce efectivo de la vegetación no deseada. Esto sugiere que la teleoperación ofrece un nivel de control adecuado para tareas de desbroce en entornos difíciles.

Adaptabilidad a Diferentes Condiciones: El robot desbrozador demostró una buena adaptabilidad a una variedad de condiciones de terreno y vegetación, gracias a la combinación de la suspensión Rocker-Bogie y el control remoto por radiofrecuencia. Esto indica la versatilidad del sistema para enfrentar desafíos variables en entornos agrícolas y forestales.

Seguridad y Fiabilidad del Sistema: Se observó un nivel adecuado de seguridad y fiabilidad durante las pruebas, con un mínimo de incidentes y un funcionamiento consistente del robot desbrozador. Sin embargo, se deben seguir realizando pruebas de confiabilidad a largo plazo para validar aún más la robustez del sistema en condiciones de uso prolongado.

Contribución a la Ingeniería Agrícola: Este estudio proporciona una contribución significativa al campo de la ingeniería agrícola al demostrar la viabilidad y el potencial de los robots desbrozadores amortiguados con sistema Rocker-Bogie y controlados por radiofrecuencia. Estos sistemas tienen el potencial de mejorar la productividad y la sostenibilidad en la gestión de terrenos agrícolas y forestales.

XI. RECOMENDACIONES

Para garantizar el correcto funcionamiento del sistema eléctrico, es crucial que las placas estén conectadas adecuadamente. Si algún circuito o placa del robot desbrozador presenta fallos o no establece contacto apropiado en las pistas de la tarjeta principal, el dispositivo entrará en un estado de espera y emitirá un pitido intermitente. Por lo tanto, se recomienda verificar que todos los circuitos y placas estén en perfectas condiciones.

En cuanto a la construcción del sistema motriz, se aconseja optar por materiales livianos, ya que el robot debe moverse con facilidad y precisión a diferentes ubicaciones, controlando su velocidad, fuerza y la movilidad del brazo desbrozador durante su operación.

Separe la fuente de alimentación del sistema eléctrico del sistema de control eléctrico, ya que la contracorriente del motor de tracción puede provocar que cambie su marcado, dañando los equipos que operan a corrientes y voltajes relativamente bajos.

Definir Objetivos Claros: Antes de iniciar cualquier evaluación, es fundamental contar con metas de investigación claras y meticulosamente definidas. Estas metas deben orientar tanto el diseño de las pruebas como la interpretación de los resultados obtenidos.

Establecer Métricas de Evaluación: Definir métricas específicas para evaluar el rendimiento del robot desbrozador, como la velocidad de desbroce, la teleoperación por radiofrecuencia, la eficiencia energética, entre otros. Estas métricas deben ser relevantes para los objetivos de la investigación.

Escenarios de Prueba Representativos: Los escenarios de prueba deben ser representativos de las condiciones reales en las que el robot desbrozador será utilizado. Esto puede incluir diferentes tipos de terreno, variaciones en la densidad de la vegetación y la presencia de obstáculos.

Realizar Pruebas Controladas y Repetibles: Asegurarse de que las pruebas sean controladas y reproducibles. Utilizar el mismo procedimiento de prueba para cada escenario y registrar todos los parámetros relevantes, como el tiempo, la distancia recorrida y los resultados de la desbrozadora.

Variar los Factores de Prueba: Experimentar con diferentes variables durante las pruebas, como la velocidad del robot, la configuración de los motores, servomotores y la densidad de la vegetación. Esto ayudará a comprender cómo estos factores afectan el rendimiento del robot desbrozador.

Registrar y Analizar Datos Detalladamente: Registrar todos los datos relevantes durante las pruebas, incluyendo mediciones de rendimiento y observaciones cualitativas. Utilizar herramientas de análisis de datos para identificar tendencias y patrones en los resultados.

Considerar la Seguridad: Priorizar la seguridad durante las pruebas, tanto para los operadores como para el entorno. Asegurarse de seguir todas las normas y regulaciones de seguridad aplicables y de tomar precauciones adicionales cuando sea necesario.

Documentar y Comunicar los Resultados: Documentar cuidadosamente todos los aspectos de las pruebas, incluyendo el diseño experimental, los procedimientos, los resultados y las conclusiones.

XII. CRONOGRAMA

Tabla XI: Cronograma de Actividades para Implementación del Anteproyecto de Tesis.

id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras	Nombres de los recursos
1		Investigación de precios y materiales	23,75 días	vie 12/5/23	jue 15/6/23		
2		Investigación de precios y materiales	35,75 días	jue 1/6/23	vie 21/7/23		
3		Descripción de requisitos y diseño preliminar	36,5 días	mar 4/7/23	jue 24/8/23		
4		Adquisición de componentes y materiales	41,25 días	mar 1/8/23	jue 28/9/23		
5		Construcción de la estructura del robot	20,25 días	jue 28/9/23	jue 26/10/23		
6		Implementación del sistema rocker bogie	21 días	vie 27/10/23	vie 24/11/23		
7		Implementación del sistema de control teleoperado por radiofrecuencia	42 días	mié 1/11/23	jue 28/12/23		
8		Comprobación de funcionamiento rocker bogie	24 días	jue 28/12/23	mar 30/1/24		
9		Pruebas y ajustes	22 días	mar 30/1/24	mié 28/2/24		
10		Finalización y documentación	21 días	mié 28/2/24	mié 27/3/24		

Proyecto: **exo esqueleto**

Fecha: **vie 22/9/23**

Página 1

XIII. PRESUPUESTO

La tabla de presupuesto ofrece estimaciones cercanas basadas en cotizaciones recopiladas de varios proveedores locales para la ejecución del proyecto de tesis, tal y como se especifica en el cuadro que sigue a continuación.

Tabla XII: Presupuesto para la fabricación del robot desbrozador.

PRESUPUESTO PARA LA FABRICACIÓN DE:				
ROBOT DESBROZADOR TODO TERRENO AMORTIGUADO MEDIANTE SISTEMA ROCKER-BOGIE TELEOPERADO POR RADIOFRECUENCIA				
Item	Descripción	P. Unitario	Cantidad	P.Total
MATERIALES				
1	Chasis resistente	\$ 200.00	1	\$ 200.00
2	Llantas todo terreno	\$ 150.00	4	\$ 600.00
3	Motores de Arduino	\$ 30.00	2	\$ 60.00
4	Sistema de suspensión rocker bogie	\$ 80.00	1	\$ 80.00
5	Cuchillas de desbroce	\$ 50.00	6	\$ 300.00
6	Batería recargable	\$ 80.00	1	\$ 80.00
7	Placa controladora	\$ 150.00	1	\$ 150.00
8	Controlador de radiofrecuencia	\$ 100.00	1	\$ 100.00
9	Sensores de proximidad	\$ 60.00	4	\$ 240.00
10	Antenas de radiofrecuencia	\$ 30.00	2	\$ 60.00
11	Cables Arduino	\$ 37.00	0.16	\$ 5.92
12	Jumpers	\$ 2.25	1	\$ 2.25
13	Tarjeta reguladora de voltaje	\$ 50.00	1	\$ 50.00
14	Tarjeta de control	\$ 100.00	1	\$ 100.00
SOFTWARE				
14	Programación del sistema de control	\$ 500.00	1	\$ 500.00
15	Desarrollo de la interfaz de usuario	\$ 300.00	1	\$ 300.00
CONEXIONES				
16	Cableado eléctrico	\$ 50.00	1	\$ 50.00
17	Conectores y terminales	\$ 30.00	1	\$ 30.00
MANO DE OBRA				
18	Ensamblaje y pruebas	\$ 200.00	1	\$ 200.00
TOTAL				\$ 3,108.17

XIV. ANÁLISIS ECONÓMICO

XIV-A. Costos de materiales

TECmīkro

Dirección de entrega

Carlos Ramirez
1716184872
Joaquin Gutierrez E2-37
0978668816
Quito Pichincha (Quito)
Ecuador

Número de Detalle	Fecha de Detalle	Referencia de Pedido	Fecha de Pedido
005332			

Referencia	Producto	Tasa de impuesto	Precio unitario (Impuestos excl.)	Cant.	Total (Impuestos excl.)
118-A3	7805 Regulador de Voltaje 5V	12 %	\$ 0,47	4	\$ 1,88
100	Atmega328P	12 %	\$ 5,13	4	\$ 20,52
620-2	Conector Header Polarizado (Tipo: 2 pines)	12 %	\$ 0,22	4	\$ 0,88
620-3	Conector Header Polarizado (Tipo: 3 pines)	12 %	\$ 0,26	8	\$ 2,08
620-4	Conector Header Polarizado (Tipo: 4 pines)	12 %	\$ 0,31	8	\$ 2,48
297-2P	Bornera para circuito Impreso (Tipo: 2 pines)	12 %	\$ 0,18	5	\$ 0,90
297-3P	Bornera para circuito Impreso (Tipo: 3 pines)	12 %	\$ 0,27	4	\$ 1,08
314	Clip Conector De Bateria 9v	12 %	\$ 0,22	4	\$ 0,88
433	Conector Header Macho 40 Pines	12 %	\$ 0,49	2	\$ 0,98
432	Conector Header Hembra 40 Pines	12 %	\$ 0,49	5	\$ 2,45
262-D2	Teclado Matricial Negro 4x4	12 %	\$ 4,22	1	\$ 4,22
253	Pulsador NA Redondo Pequeño	12 %	\$ 0,45	4	\$ 1,80
252	Pulsador NA tipo Boton 2 Pines	12 %	\$ 0,13	8	\$ 1,04
510-D4	Voltímetro Digital, Amperímetro Digital	12 %	\$ 7,14	1	\$ 7,14
092-C2	DRV8825 Controlador de motores	12 %	\$ 3,13	8	\$ 25,04
509-C4	Polea GT2 para motor Nema 17	12 %	\$ 2,90	6	\$ 17,40
351-D1	LCD 16x2 con I2C	12 %	\$ 6,70	2	\$ 13,40
632-B3	Sensor inductivo de proximidad LJ12A3-4-Z/BX	12 %	\$ 5,09	6	\$ 30,54
589-F1	Microswitch de 13mm	12 %	\$ 0,47	6	\$ 2,82
534-B2	KY-040 Encoder rotativo	12 %	\$ 2,11	1	\$ 2,11
458-C3	Modulo de reles 5V 2 canales	12 %	\$ 2,90	3	\$ 8,70

Av. 10 de Agosto N34-130 y Thomas Moro- Sector La Carolina - Quito Pichincha (Quito) - Ecuador
Para obtener más ayuda, póngase en contacto con Soporte:
Tel: 0987438877 Escribanos: tecmikro@gmail.com

TECmikro

412-D4	Motor NEMA 17	12 %	\$ 14,91	2	\$ 29,82
482-C4	Motorreductor amarillo para Arduino®	12 %	\$ 2,01	4	\$ 8,04
	Custom Selling - Envío	12 %	\$ 0,89	1	\$ 0,89

Desglose impuestos	Tasa de impuesto	Precio base	Total impuesto
Productos	12.000 %	\$ 187,09	\$ 22,45

Método de pago	Pago con Tarjeta	\$ 209,54
Transportista	Entrega en TECmikro Quito	

Total Productos	\$ 187,09
Gastos de envío	...
Total (Imp. excl.)	\$ 187,09
Total impuesto	\$ 22,45
Total	\$ 209,54

Av. 10 de Agosto N34-130 y Thomas Moro. Sector La Carolina. - Quito Pichincha (Quito) - Ecuador
 Para obtener más ayuda, póngase en contacto con Soporte:
 Tel: 0987438877 Escribanos: tecmikro@gmail.com

ht

Figura 36: Factura [36]



Ruc: 1722646682001

FACTURA

No: 001-010-000008237

2601202401172264668200120010100000082370000000017

Ambiente: producción

CLAVE DE ACCESO



2601202401172264668200120010100000082370000000017

ROBOTICS ECUADOR

SIMON ERNESTO RIOS HIDALGO

Dirección Matriz: VENEZUELA N11 - 249 ENTRE CALDAS Y MATOVELLE
 Dirección Sucursal: VENEZUELA N11 249 ENTRE CALDAS Y

Obligado a llevar Contabilidad NO
 CONTRIBUYENTE RÉGIMEN RIMPE

Razón Social: RAMIREZ RAMIREZ JUAN CARLOS

Fecha Emisión: 26/01/2024

Identificación: 1716184872

Dirección: SAN BARTOLO

Código	Descripción	Cant	P.unit	% IVA	Subsidio	Desc	Total
2C101	FILAMENTO PLA BLANCO 1Kg 1.75mm	1	19.64	12	0	0.00	19.64

Información Adicional

correo:
 juan_top@hotmail.com
 Régimen:
 Contribuyente Regimen RIMPE

FORMA DE PAGO

Nombre	Valor
SIN UTILIZACION DEL SISTEMA FINANCIERO	22.00

Subtotal 0%	0
Subtotal 12	19.64
Descuento	0.00
ICE	0
IVA 12	2.36
TOTAL	22.00
Total sin subsidio	0
Ahorro por subsidio	0

Otros Datos

*Tipo: Contribuyente Regimen RIMPE



Figura 37: Factura [36]

REFERENCIAS

- [1] Campos Montece and Tomalá Macay, *Tesis*.
- [2] *Problemáticas de la tierra*. dirección: <http://https://www.iee.org.ec/noticias/problematicas-de-la-tierra-en-el-ecuador.html>.
- [3] H. José, *Robot*. dirección: [https://conceptodefinicion.de/robot/.](https://conceptodefinicion.de/robot/)
- [4] Sciencedirect, *Optimal design*. dirección: <https://www.sciencedirect.com/science/ar>.
- [5] *Bogies. Tren 5 pulgadas*. dirección: <http://www.tren5pulgadas.mecasub.com/>.
- [6] BeattyRobotics, *Spirit II Mars Rover*. dirección: <https://www.beatty-robotics.com/spiritii-mars-rover>.
- [7] R. G. J.Keith., *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. dirección: <http://www1.frm.utn.edu.ar/electromecanica/materias%20pagina%20nuevas/elementoMaquina/material/libroCabecera.pdf>.
- [8] R. G. J.Keith., *Design of Machinery (Segunda ed.)* (Octava ed.)
- [9] D. S. Apostolopoulos, *Analytical Configuration*. 2001.
- [10] Jecrespom, P, *Aprendiendoarduino*. dirección: <https://www.aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/11/16/zigbeexbee>.
- [11] Universidad de Sevilla, *Ley de Faraday. Departamento de Física*. dirección: laplace.us.es/wiki/index.php/Ley_de_Faraday_%28GIE%29.
- [12] Info-ab., *El Servomotor*. dirección: <http://www.info-ab.uclm.es/labelec/solar/electronica/elementos/servomotor.htm>.
- [13] Monografías, *Servomotores*. dirección: <http://www.monografias.com/trabajos60/servo-motores/servo-motores.shtml>.
- [14] E. de la Universidad de tres de Febrero, *Motor Paso a Paso Unipolar*.
- [15] E. practica aplicada, *motor paso a paso unipolar*. dirección: <https://www.diarioelectronicohoy.com/blog/motores-pap-unipolares>.
- [16] Ardumanía., *Señales de control RC*. dirección: <http://www.ardumania.es/apendice-del-ejercicio-3-senales-de-control-rc/>.
- [17] Fpm, *Sensor Capacitivo*. dirección: sensoresdeproximidad.blogspot.com/p/capacitivo.html.
- [18] Robots Perú, *Tutorial de puentes*. dirección: <http://www.robotsperu.org/foros/1-vt248.html?start=0>.
- [19] Texas Instruments, *Quadruple half Drivers*. dirección: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/1293d.pdf>.
- [20] BricoGeek, *Driver de motores*. dirección: <http://www.bricogeek.com/shop/motores/256-driver-d.html>.
- [21] OctoPart, *International Rectifier IFR8736PBF*. dirección: octopart.com/irf8736pbf-international+rectifier-8142531.
- [22] Introducción, *Introducción a la Mecatrónica*. dirección: 1311793.blogspot.com/2012/11/unidad-2-los-sistemas-2.html.
- [23] Hertz Electrónica, *Sensor infrarrojo*. dirección: 5hertz.com/index.php?main_page=product_info&products_id=360.
- [24] Observatorio Tecnológico, *Conexión de sensores*. dirección: recursostic.educacion.es/observatorio/web/ca/equipamientotecnologico/didactica-de-la-tecnologia/944-monograficoarduinoblocks?showall=1.
- [25] Pololu, *Sensores*. dirección: <http://www.pololu.com/product/1664>.
- [26] UBMTech, *NI pursues robot revolution. EDN Netw*. dirección: <https://www.edn.com/ni-pursues-robot-revolution>.
- [27] ElectrónicaUNIMAG, *Lazo cerrado*. dirección: <https://electronicaunimag.blogspot.com/2012/03/21-sistemas-de-control-en-lazo-cerrado.html>.
- [28] B. A, *Fundamentos de la robótica*.
- [29] J. Espinoza-Hernández, C. Juárez-González, C. Mota-Delfín y E. Romantchik-Kriuchkova, «Control de maleza mediante la robótica,» *Revista Ingeniería Agrícola*, vol. 11, n.º 4, 2021.
- [30] G. A. Pimentel Calmet y W. R. Meza Silvera, «Diseño de un robot móvil con direccionamiento diferencial usando lógica difusa y escaneo lidar para desinfección por radiación UV-C de espacios cerrados,» 2021.
- [31] D. E. Segovia Hernández, «Diseño y validación mediante software de un deshierbador manual para uso en pequeñas áreas de terreno,» 2021.

- [32] D. A. C. ACOSTA y J. A. C. GARCÍA, «Propuesta para optimizar el proceso del cultivo por medio de la transferencia de tecnología brasileña en la productora y comercializadora Sánchez y Calderón Ltda.,»
- [33] J. S. Bustos, J. R. Aguas, C. C. Díaz y E. Roa-Guerrero, «Diseño e implementación de una plataforma robótica móvil para identificación de minas terrestres antipersona en diferentes terrenos del territorio colombiano.,» *TECNIA*, vol. 25, n.º 1, págs. 10-10, 2015.
- [34] J. Tomalá, *Diagrama de flujo*.
- [35] J. T. A. Campos, *Robot desbrozador*.
- [36] TECmikro.
- [37] *motores paso a paso*.
- [38] C. Tomalá. dirección: <https://drive.google.com/drive/folders/1t9EXx3uI-XAYCC2uZpF85k1uc1qydsC2>.
- [39] C. Tomalá, *Circuitos Robot desbrozador*. dirección: <https://drive.google.com/drive/folders/1t9EXx3uI-XAYCC2uZpF85k1uc1qydsC2>.
- [40] C. Tomalá.
- [41] C. Tomalá, *Placas PCB Programación*. dirección: <https://drive.google.com/drive/folders/1t9EXx3uI-XAYCC2uZpF85k1uc1qydsC2>.
- [42] C. Tomalá.
- [43] C. Tomalá.

ANEXO A
MOTOR PASO A PASO

1.8° 42mm Hybrid Stepper Motor-NEMA17



General Specification:

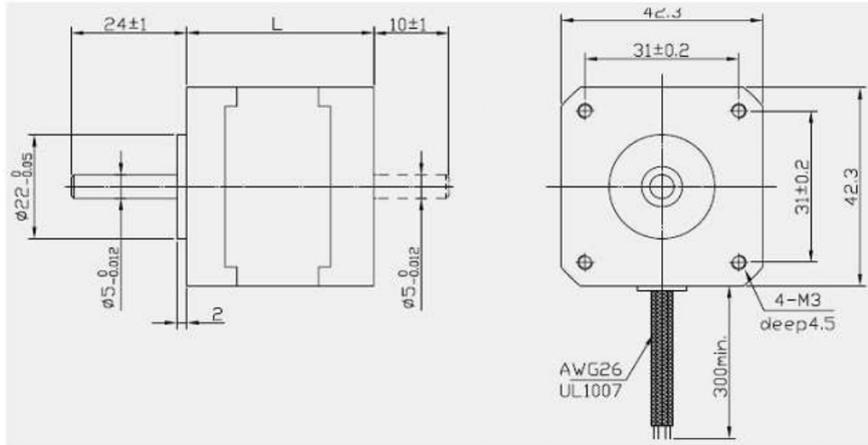
Item	Specifications
Step Angle	1.8°
Temperature Rise	80°C max
Ambient Temperature	-20°C~+50°C
Insulation Resistance	100 MΩ Min. ,500VDC
Dielectric Strength	500VAC for 1minute
Shaft Radial Play	0.02Max. (450g-load)
Shaft Axial Play	0.08Max. (450g-load)
Max. radial force	28N (20mm from the flange)
Max. axial force	10N

Electrical Specifications:

Model No.	Step Angle (°)	Motor Length (L)mm	Current /Phase A	Resistance /Phase Ω	Inductance /Phase mH	Holding Torque kg.cm	# of Leads No.	Detent Torque g.cm	Rotor Inertia g.cm	Mass Kg
42HS34-0956	1.8	34	0.95	4.2	2.5	1.6	6	120	34	0.22
42HS34-0406	1.8	34	0.4	24	15	1.6	6	120	34	0.22
42HS34-0316	1.8	34	0.31	38.5	21	1.6	6	120	34	0.22
42HS34-1334	1.8	34	1.33	2.1	2.5	2.6	4	120	34	0.22
42HS34-0404	1.8	34	0.4	30	35	2.6	4	120	34	0.22
42HS40-0404	1.8	34	0.4	30	60	4.0	4	150	54	0.28
42HS40-1206	1.8	40	1.2	3.3	3.2	2.8	6	150	54	0.28
42HS40-0806	1.8	40	0.8	7.5	6.7	2.6	6	150	54	0.28
42HS40-1704	1.8	40	1.7	1.65	3.2	4.0	4	150	54	0.28
42HS40-0406	1.8	40	0.4	30	30	2.6	6	150	54	0.28
42HS40-1684	1.8	40	1.68	1.65	3.2	4.0	4	150	54	0.28
42HS48-1206	1.8	48	1.2	3.3	2.8	3.17	6	260	68	0.35
42HS48-0806	1.8	48	0.8	7.5	6.3	3.17	6	260	68	0.35
42HS48-0406	1.8	48	0.4	30	25	3.17	6	260	68	0.35
42HS48-1684	1.8	48	1.68	1.65	2.8	4.4	4	260	68	0.35
42HS60-1206	1.8	60	1.2	6	7	6.5	6	280	102	0.5

Figura 38: Materiales [37]

Dimensions: (Unit=mm)



Wiring Diagram: (接线图)

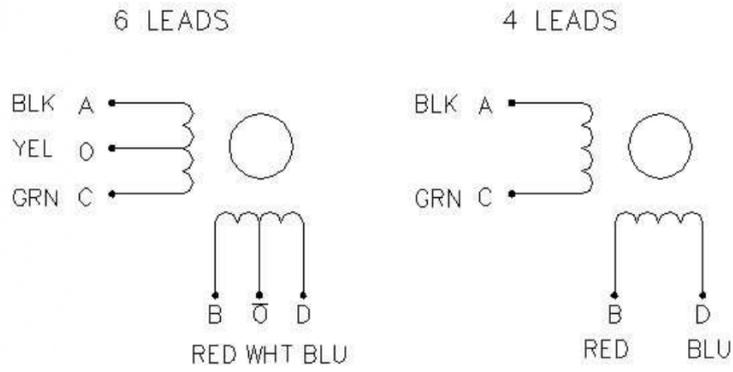


Figura 39: Materiales [37]

ANEXO B PLANOS

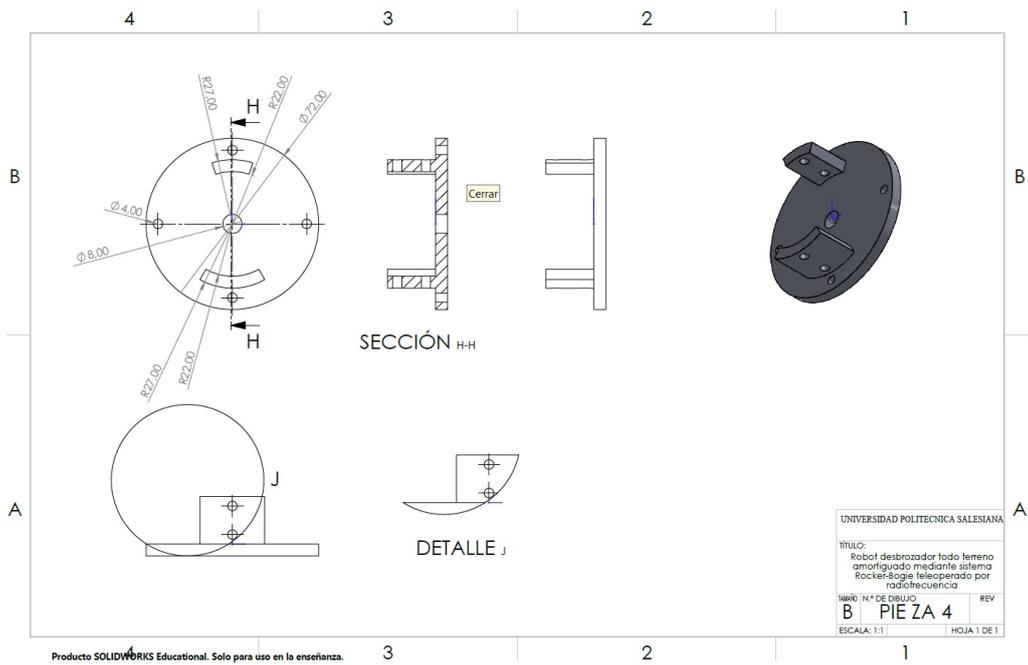


Figura 40: Pieza 4 rueda Solidworks [38]

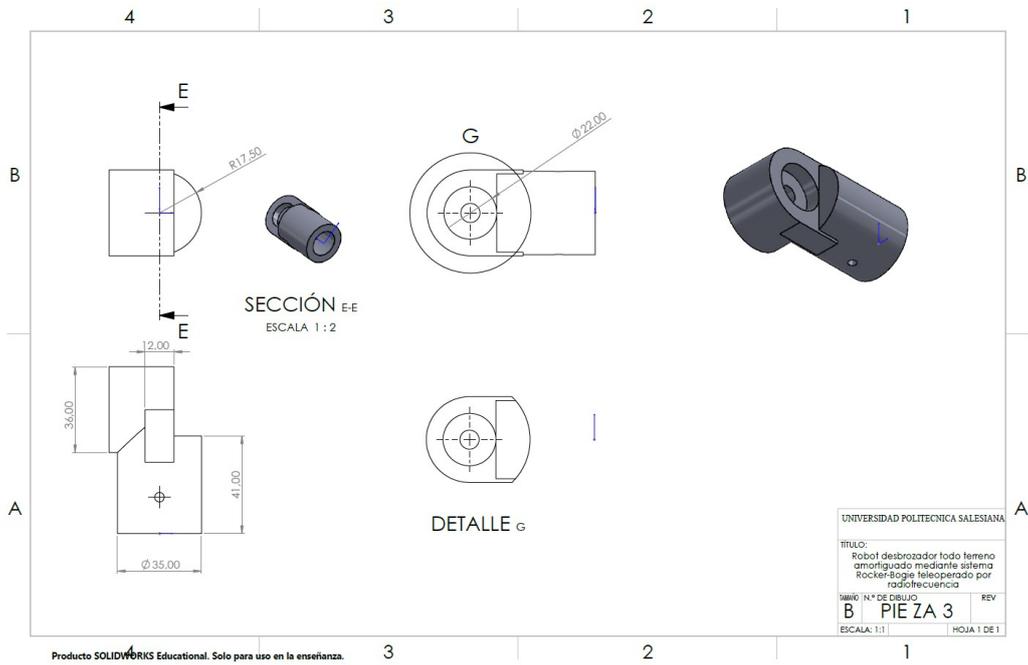


Figura 41: Pieza 3 Solidworks [38]

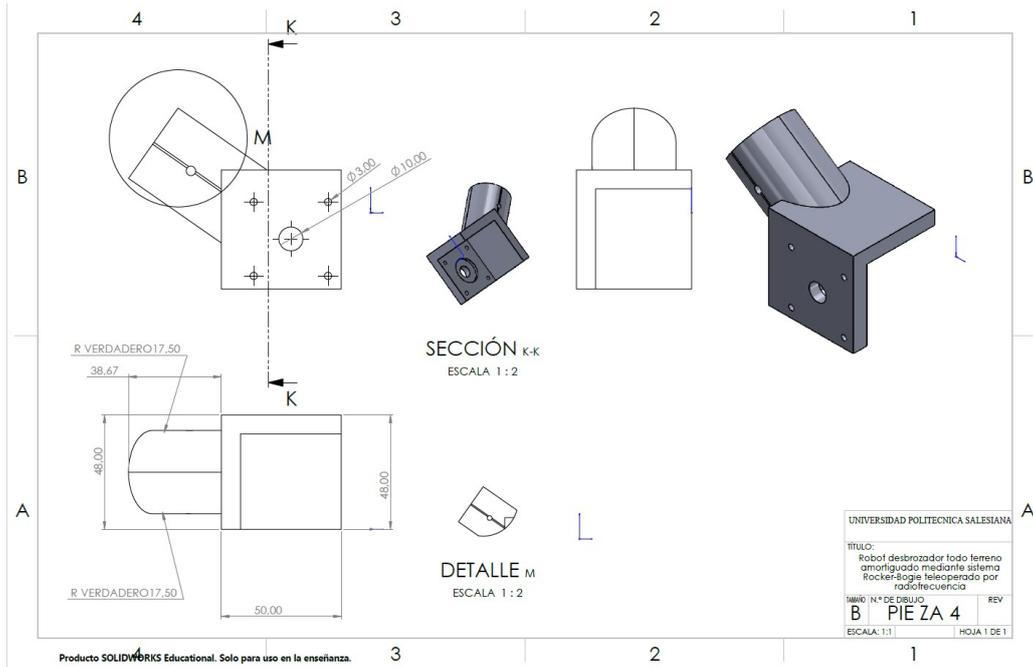


Figura 42: Pieza 4 Solidworks [38]

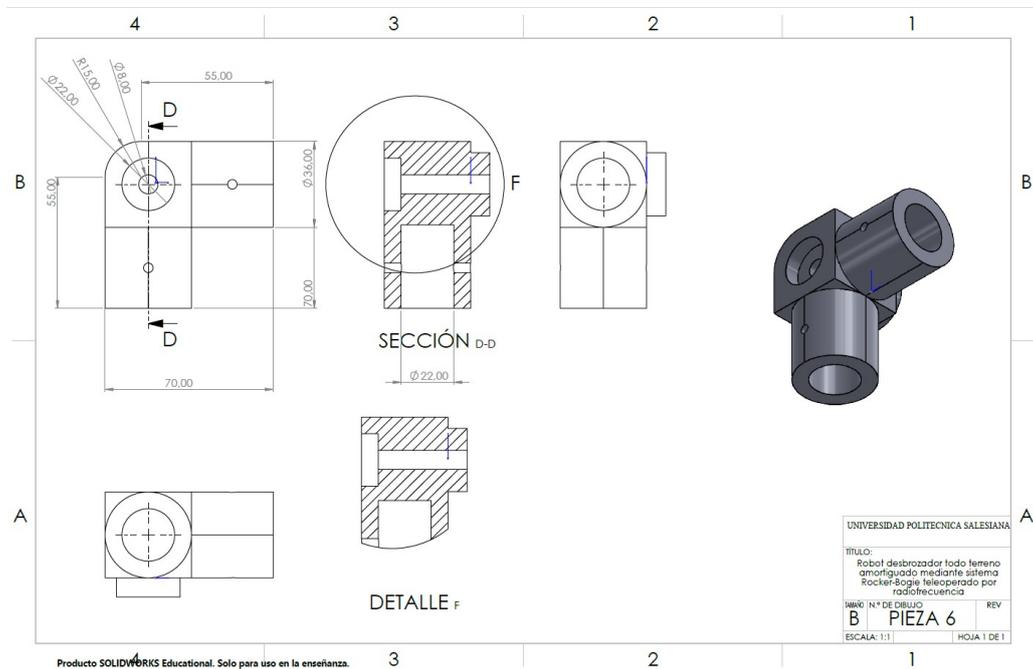


Figura 43: Pieza 6 Solidworks [38]

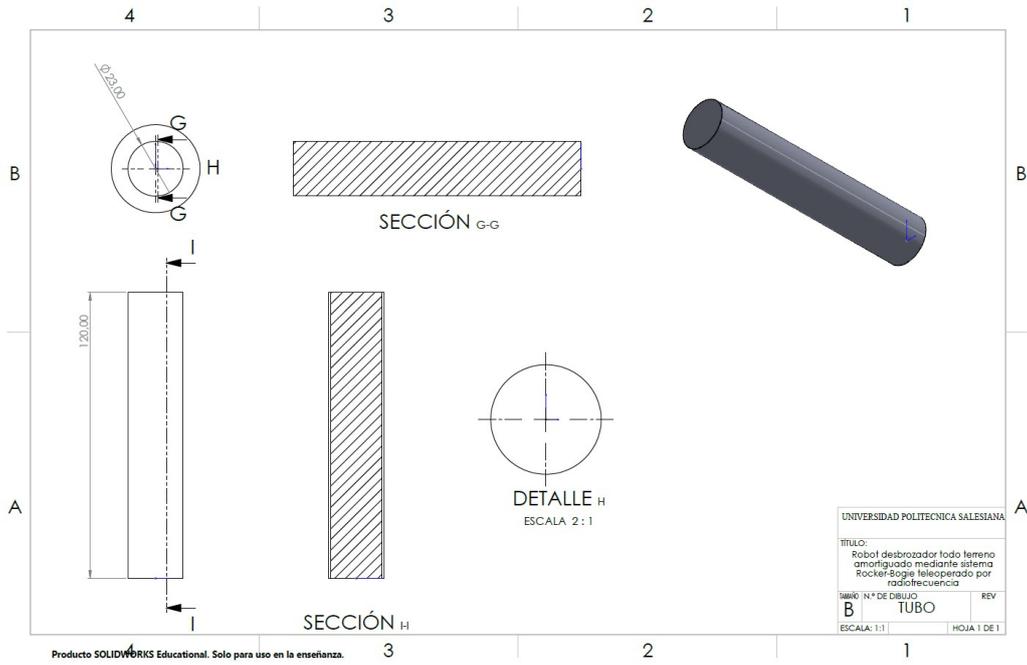


Figura 44: Tubo Solidworks [38]

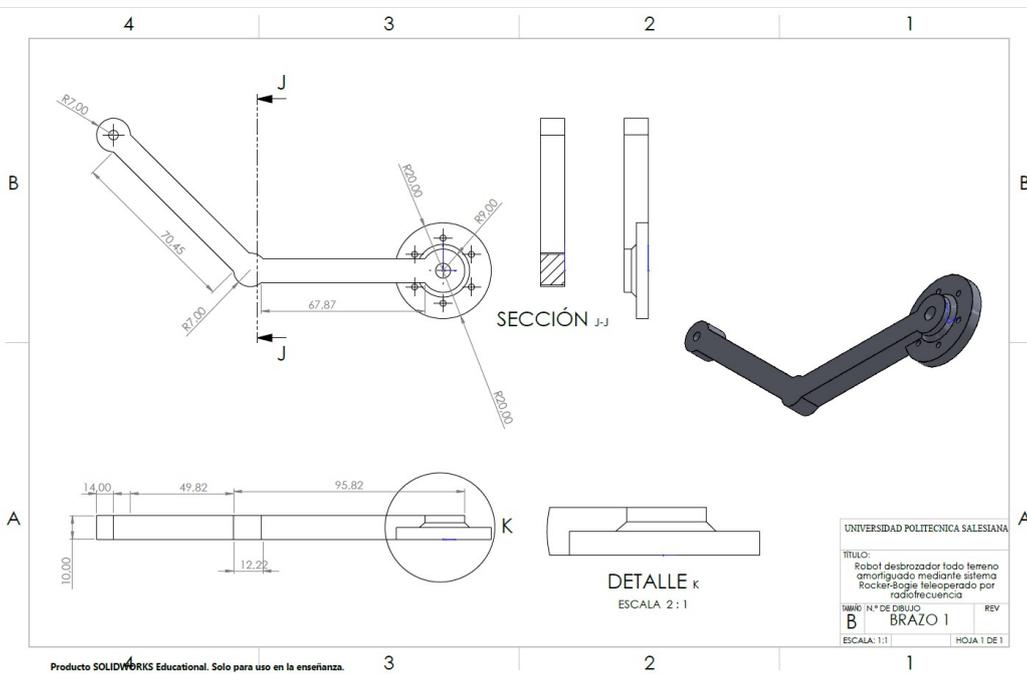


Figura 45: Brazo 1 Solidworks [38]

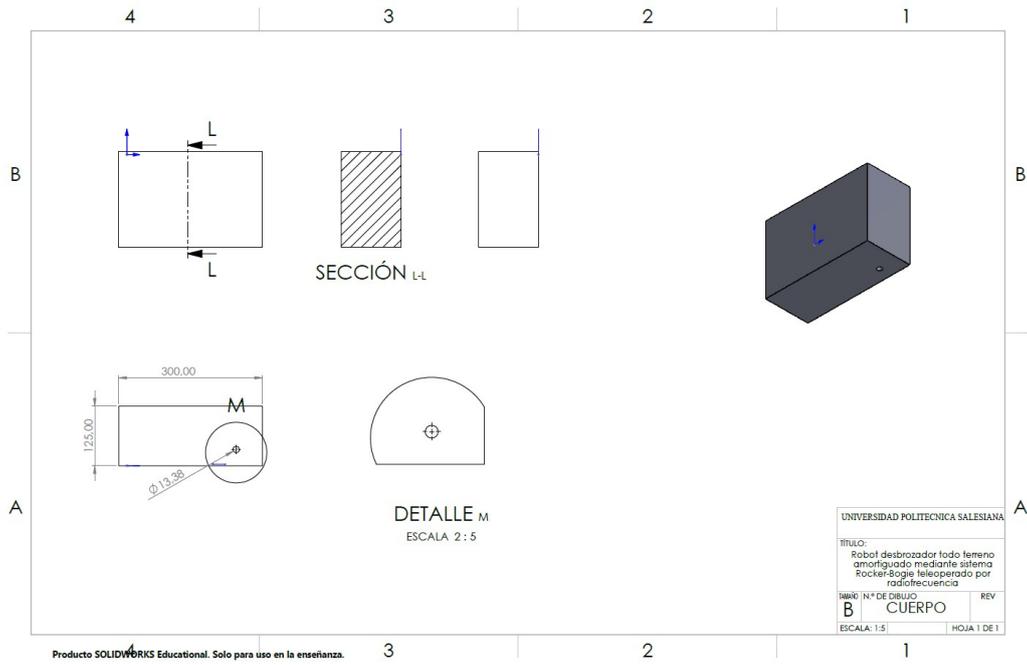


Figura 46: Cuerpo Solidworks [38]

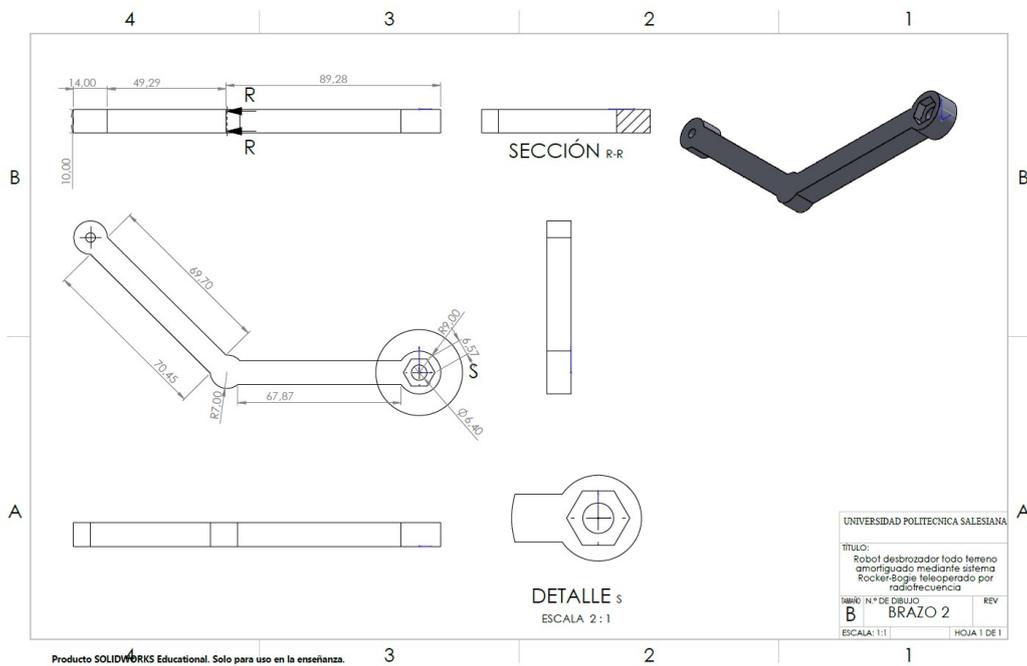


Figura 47: Brazo 2 Solidworks [38]

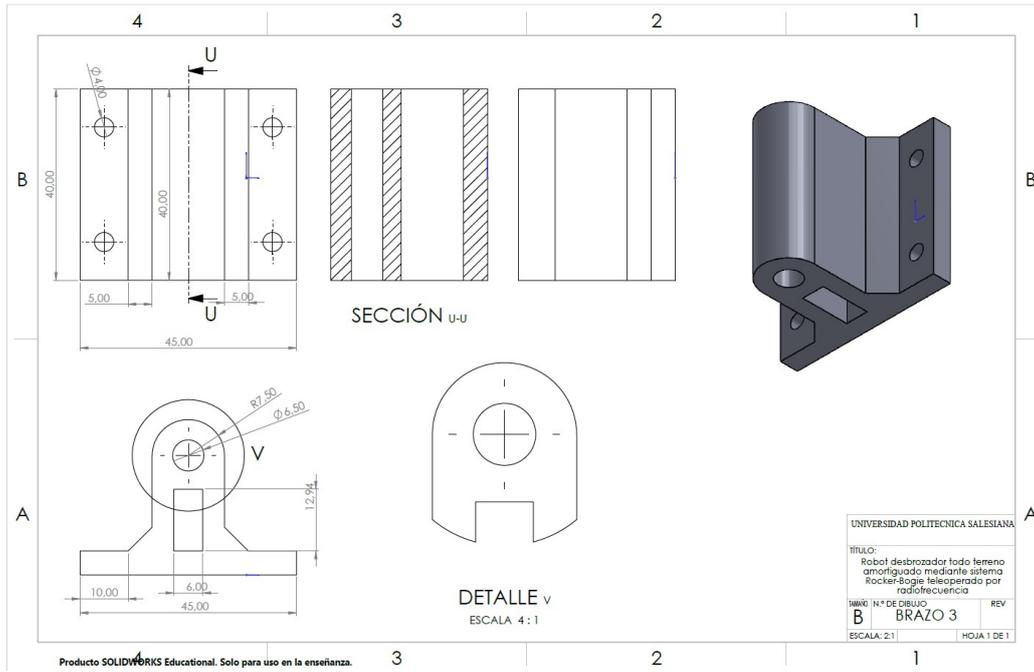


Figura 48: Brazo 3 Solidworks [38]

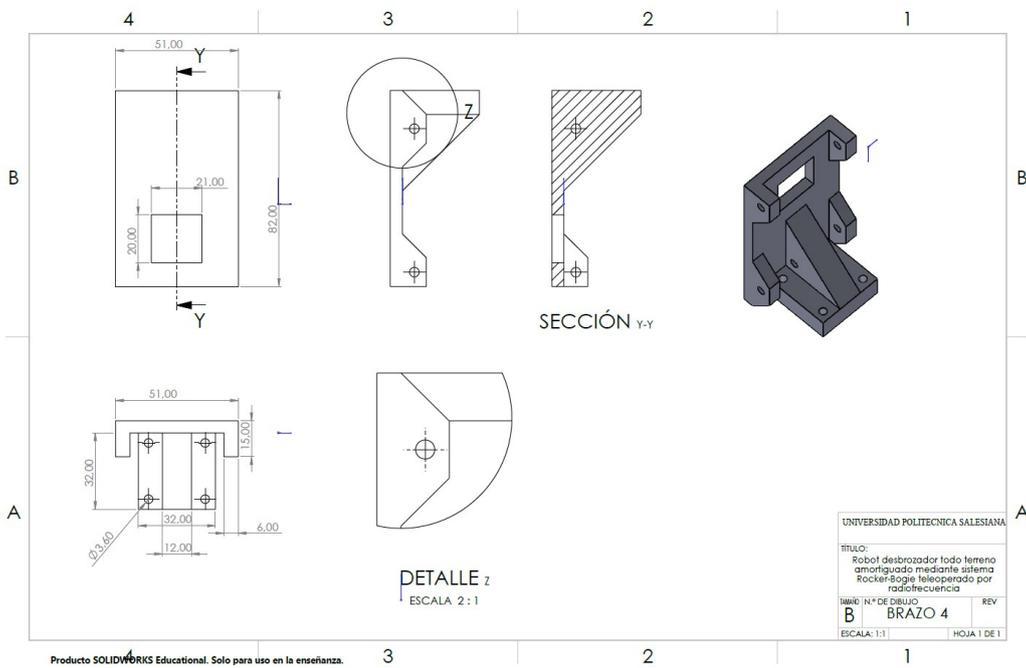
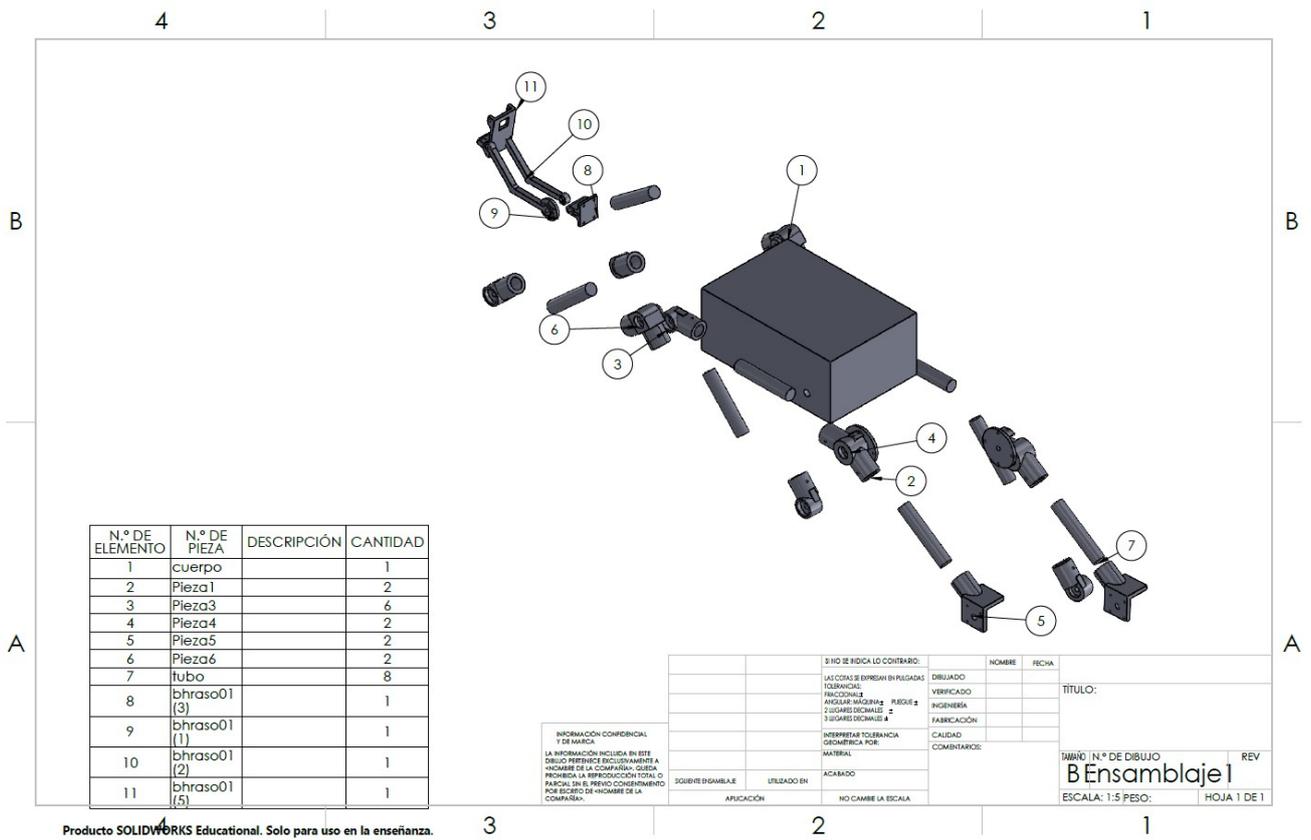


Figura 49: Brazo 4 Solidworks [38]



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Figura 50: Ensamblaje Solidworks [38]

ANEXO C CIRCUITOS

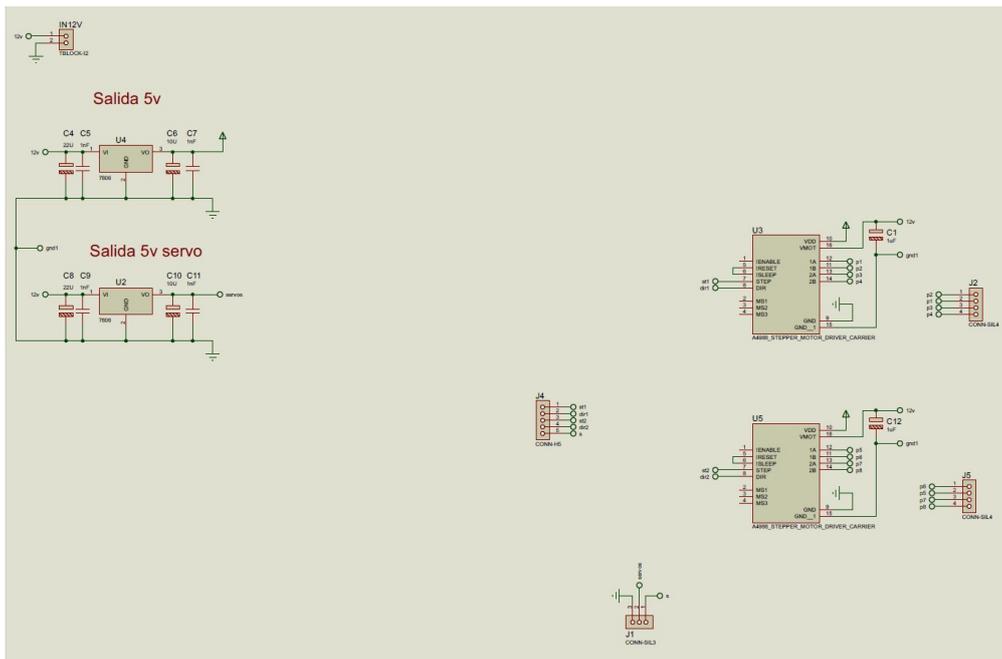


Figura 51: Circuito Robot desborce [39]

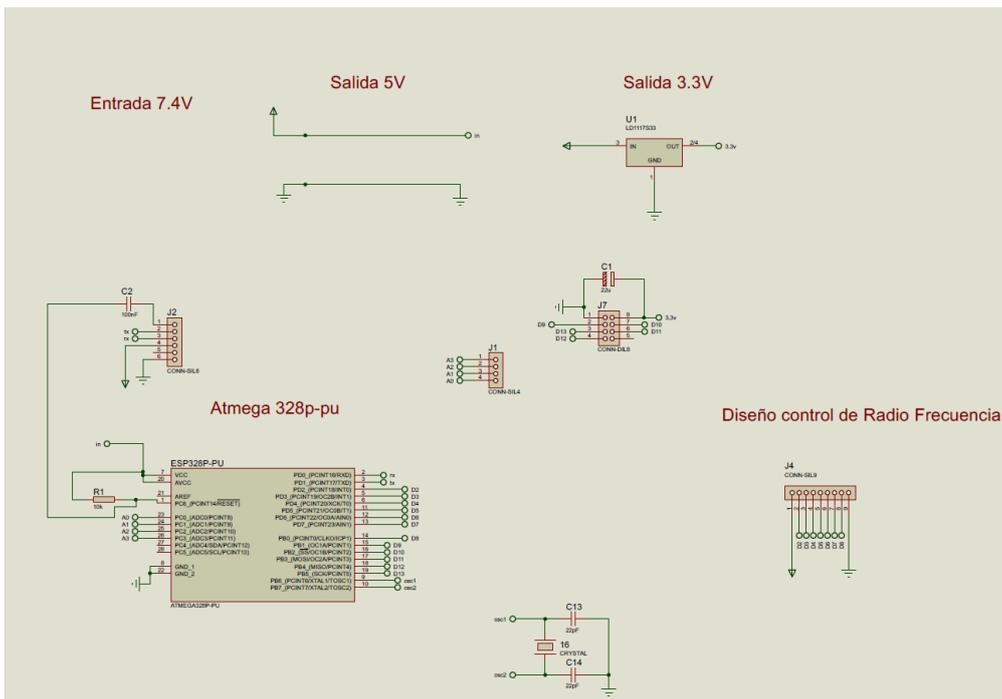


Figura 52: Receptor RC 10 canales [39]

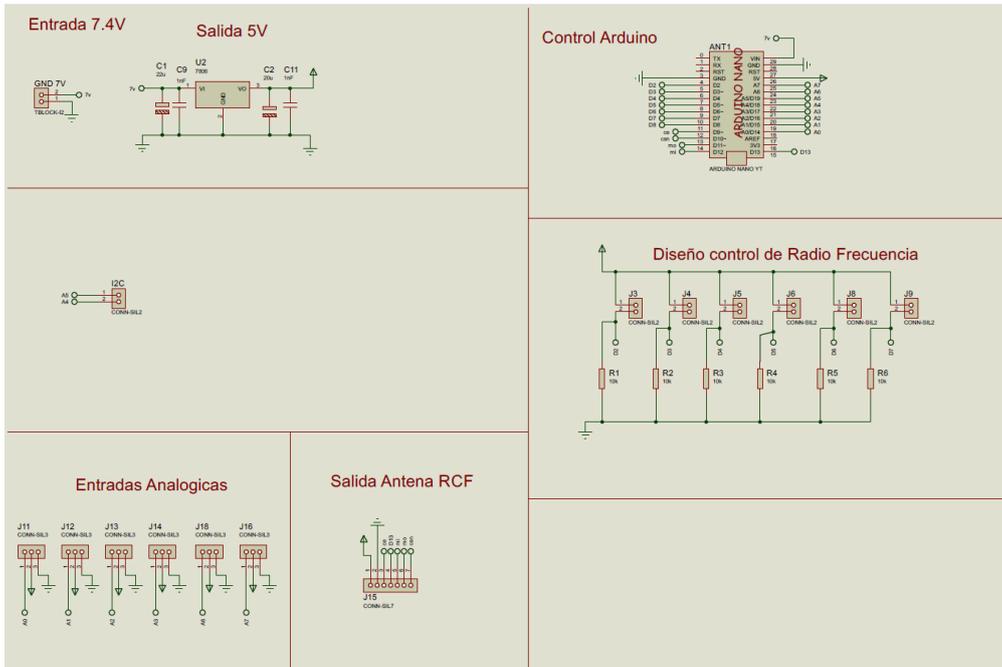


Figura 53: Receptor RC [39]

ANEXO D PROTOTIPO



Figura 54: Prototipo [40]

ANEXO E PROGRAMACIÓN

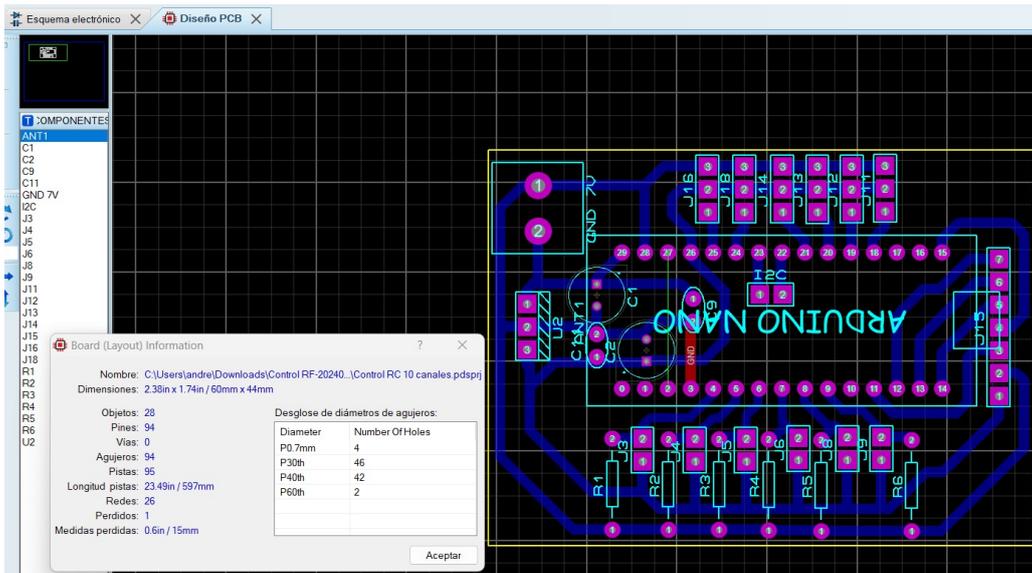


Figura 55: Control RC 10 Canales PCB [41]

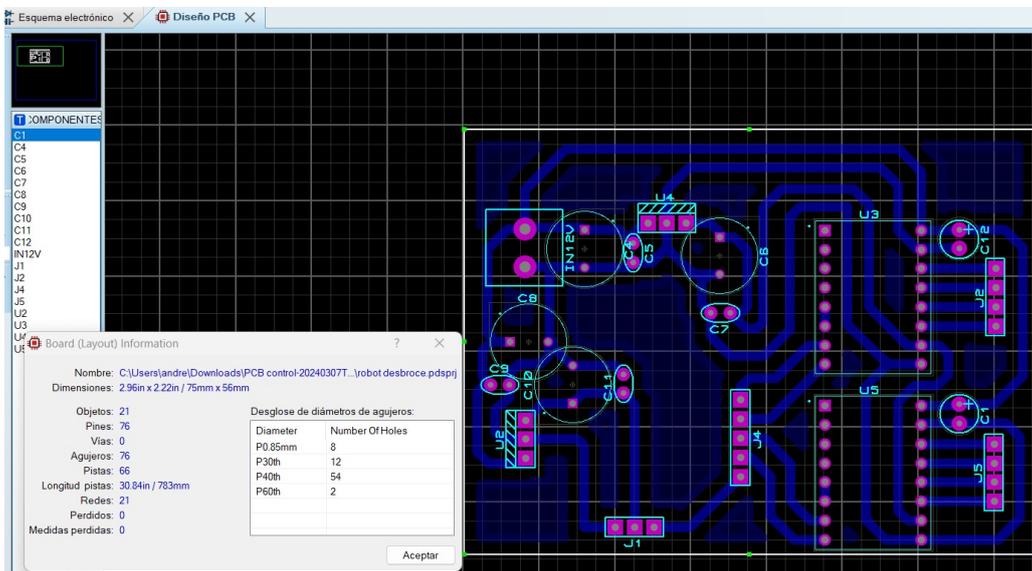


Figura 56: Diseño PCB [41]

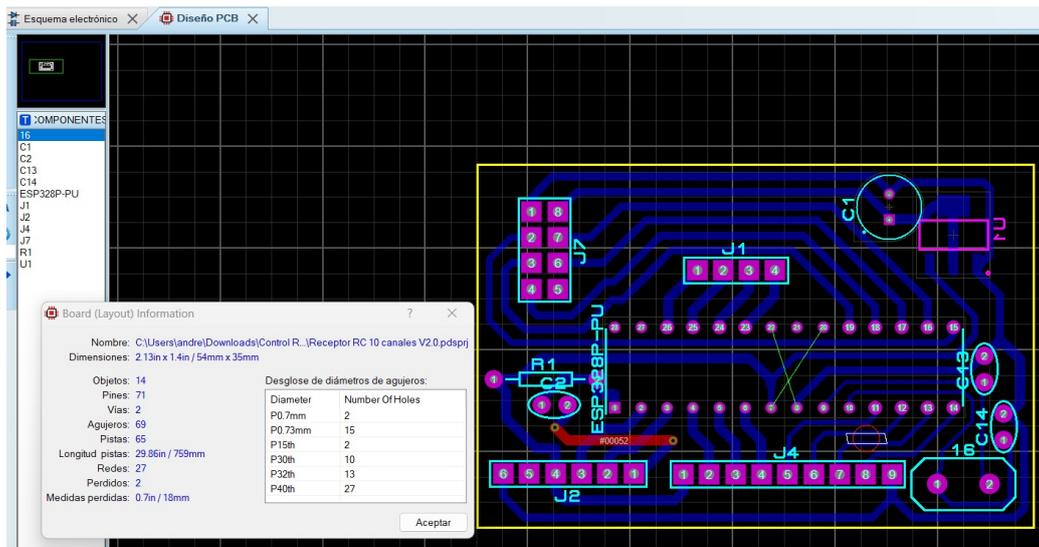


Figura 57: Receptor RC 10 canales PCB [41]

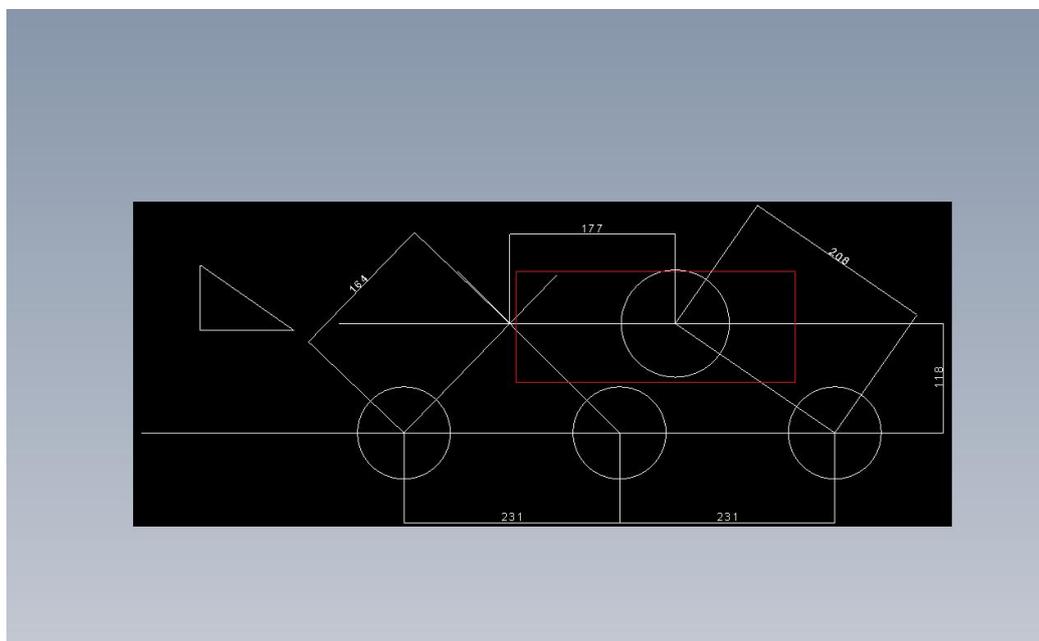


Figura 58: CAD llantas [42]

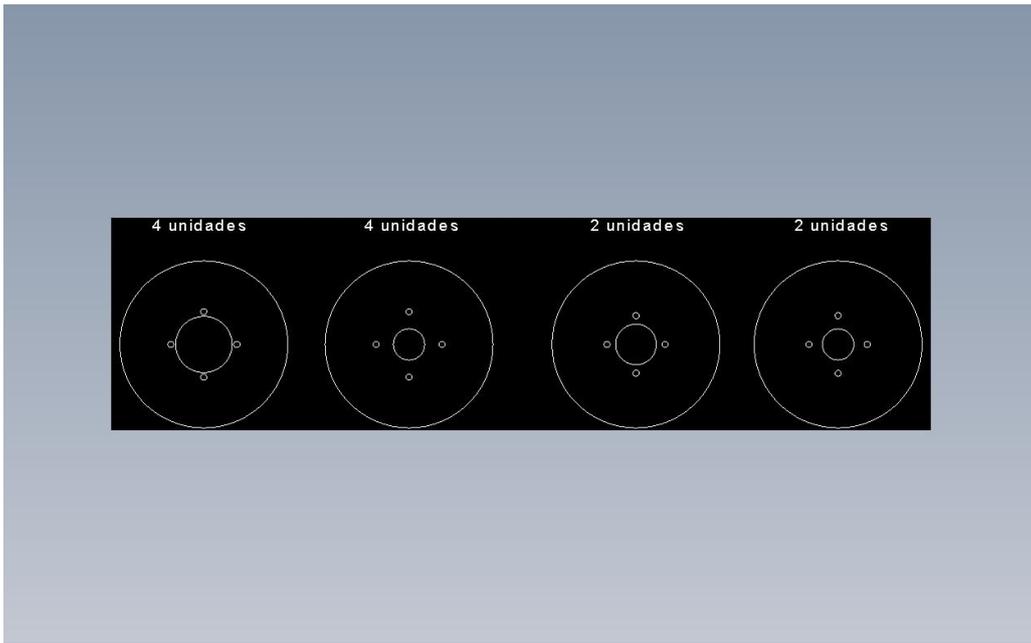


Figura 59: CAD Rocker-Bogie [42]

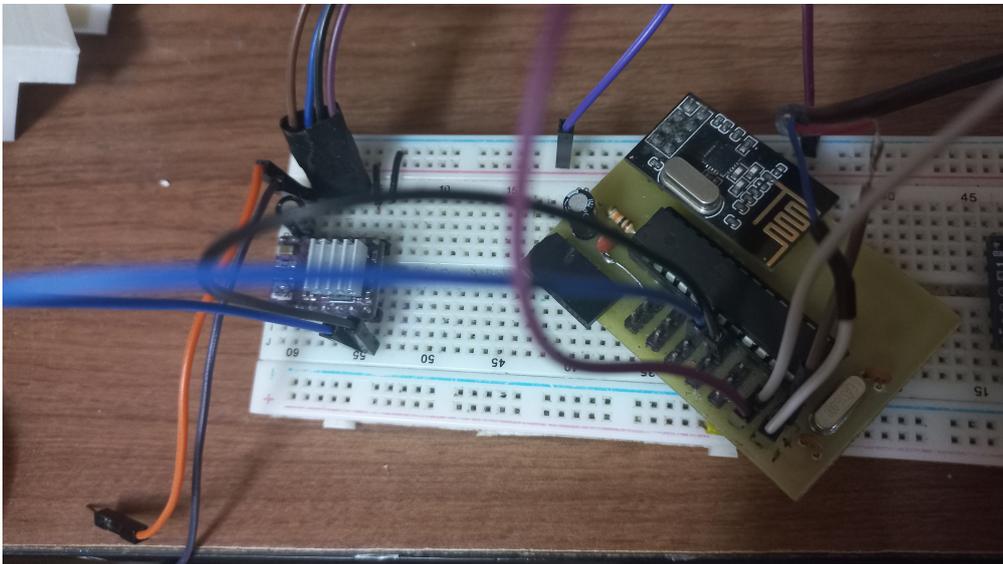


Figura 60: Imagen Prueba placa [43]

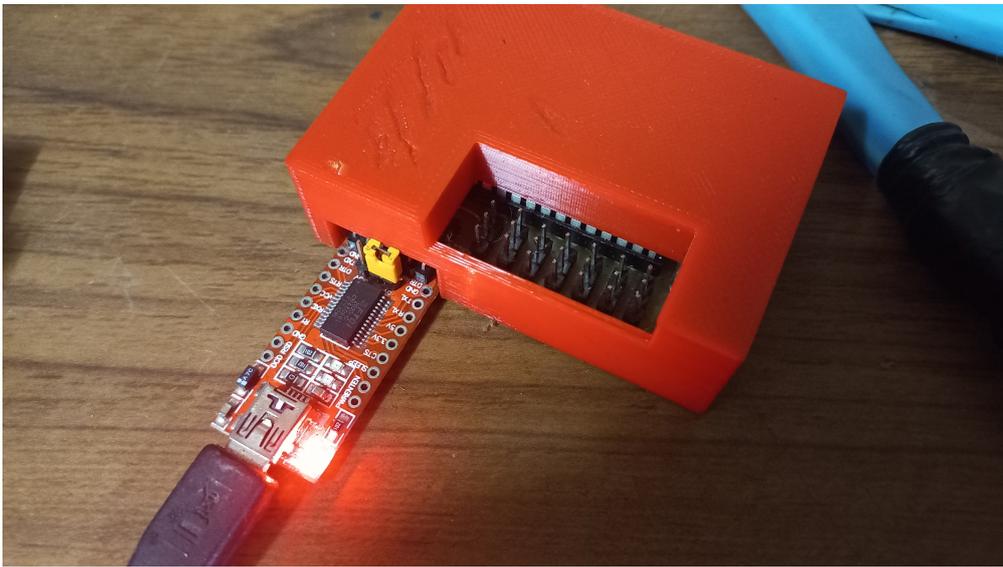


Figura 61: Imagen prueba Placa control [43]