



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

**CARRERA DE ELECTRÓNICA Y
AUTOMATIZACIÓN**

*DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ROBOT TREPADOR BASADO EN
IMANES USANDO UNA APLICACIÓN MÓVIL*

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniera en Electrónica

AUTOR: QUEZADA MOLINA BRYAN JOEL
TUTOR: ING. LARCO TORRES VÍCTOR DAVID, MGTR

Guayaquil-Ecuador
2024

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, Bryan Joel Quezada Molina con documento de identificación N° 0931599849 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, agosto del año 2024

Atentamente,



Bryan Joel Quezada Molina

C.I. 0931599849

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

Yo, Bryan Joel Quezada Molina con documento de identificación No. 0931599849, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto técnico: "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ROBOT TREPADOR BASADO EN IMANES USANDO UNA APLICACIÓN MÓVIL", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Electrónico y Automatización, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Guayaquil, agosto del año 2024

Atentamente,



Bryan Joel Quezada Molina

C.I. 0931599849

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Larco Torres Víctor David con documento de identificación N° 0923270136, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ROBOT TREPADOR BASADO EN IMANES USANDO UNA APLICACIÓN MÓVIL realizado por Bryan Joel Quezada Molina con documento de identificación N° 0931599849, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, agosto del año 2024

Atentamente,



Ing. Larco Torres Víctor David, Msc.

C.I. 0923270136

DEDICATORIA

Mi agradecimiento va dirigido a Dios por la sabiduría, la fortaleza y paciencia que me brinda día tras día para continuar cumpliendo cada uno de mis sueños, a mi familia por ser mi pilar fundamental sobre todo a mis padres por ser mi guía, mi inspiración para continuar en la lucha cada día, mi ejemplo de superación, la prueba de que todo en esta vida se puede lograr con trabajo, dedicación y constancia.

A mi novia Angie Santos, por estar alentándome a seguir adelante y culminar mis estudios. A mi mentor Byron Lima, que gracias a él tengo los conocimientos que tengo actualmente. Agradecer a mis profesores y guías Luis Guayca, Carlos Guayca y Jeny Cujilema, que me han ayudado con problemas que he tenido durante todo este camino académico.

Bryan Quezada Molina

RESUMEN

El proyecto realizado correspondiente al diseño e implementación de un robot trepador se basa en la utilización de recursos tecnológicos actuales con fundamentos en robótica móvil, diseño electrónico, diseño mecánico y comunicaciones, para resolver una problemática que resulta retadora en términos de superar límites físicos como la gravedad para cubrir ciertas necesidades. Este prototipo y sus fundamentos podrían ser utilizados a futuro como base para el diseño de robots comerciales que tengan aplicaciones como limpieza de ventanas en edificaciones, supervisión de torres de comunicaciones, monitores de tuberías en vertical, etc.

Para el desarrollo del proyecto se ha hecho uso de software de diseño mecánico que se encuentra entre los primeros de uso a nivel mundial para operaciones de tipo CAD / CAM / CAE correspondiente a Diseño, Manufactura e Ingeniería asistida por computador. Así como el uso de herramientas de programación y hardware libre que se encuentra en evolución constante para aplicaciones diversas de índole comercial, residencial e investigativa.

Este robot consta de un control de activación remoto para evitar los problemas que se generan al tener contacto con el robot tales como desviar la trayectoria de este a través de alguna fuerza axial involuntaria por parte del operador. Esto se puede evidenciar especialmente cuando se trata de competencias de robótica en las que el autómatas debe cumplir con un trayecto específico.

Durante la realización se ha considerado diversos aspectos de diseño a fin de obtener un robot funcional y didáctico, el mismo que podría ser mejorado a futuro y ser usado para contribuir académicamente con la solución de otros problemas.

PALABRAS CLAVES:

Robot, Trepador, Imanes, Diseño, Motor Brushless, ESP32, Microcontrolador.

ABSTRACT

The project carried out corresponding to the design and implementation of a climbing robot is based on the use of current technological resources with fundamentals in mobile robotics, electronic design, mechanical design, and communications, to solve a problem that is challenging in terms of overcoming physical limits such as gravity to cover certain needs. This prototype and its foundations could be used in the future as a basis for the design of commercial robots that have applications such as window cleaning in buildings, monitoring of communication towers, vertical pipe monitors, etc.

For the development of the project, mechanical design software has been used, which is among the first to be used worldwide for CAD / CAM / CAE operations corresponding to Design, Manufacturing and Computer Aided Engineering. As well as the use of programming tools and free hardware that is in constant evolution for diverse commercial, residential and research applications.

This robot consists of a remote activation control to avoid the problems that arise when having contact with the robot such as diverting the trajectory of this through some involuntary axial force by the operator. This can be especially evident when it comes to robotics competitions in which the automaton must comply with a specific path.

During the realization has been considered various aspects of design in order to obtain a functional and didactic robot, which could be improved in the future and be used to contribute academically with the solution of other problems.

KEYWORDS:

Robot, climber, magnets, design, brushless motor, ESP32, microcontroller.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. EL PROBLEMA	2
2.1. ANTECEDENTES.....	2
2.2. IMPORTANCIA Y ALACANCE	2
2.3. DELIMITACIÓN.....	3
3. OBJETIVOS	3
3.1. OBJETIVO GENERAL	3
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	4
4.1. ROBÓTICA.....	4
4.2. ROBOT TREPADOR.....	4
4.3. ROBOT TREPADOR BASADO EN IMANES	7
4.4. MOTOR SIN ESCOBILLAS.....	8
4.5. APLICACIONES VÍA REMOTA	9
4.6. ROBÓTICA MÓVIL.....	9
5. MARCO METODOLÓGICO	11
5.1. DISEÑO MECÁNICO	11
5.2. DISEÑO ELECTRÓNICO.....	17
5.3. DESARROLLO DE APLICACIÓN REMOTA	20
5.4. PROGRAMACIÓN DEL CONTROLADOR ESP32	22
6. RESULTADOS	24
6.1. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	24
7. CRONOGRAMA	28
8. PRESUPUESTO	28
9. CONCLUSIONES	29
10. RECOMENDACIONES	29
11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30
12. ANEXOS	31

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad las aplicaciones de la ingeniería rebasan el pensamiento de muchas personas hace pocos años atrás, cada día avanzando a pasos agigantados y acelerando a fondo dando como resultado la implementación de soluciones diversas usando tecnología que evoluciona a cada minuto. Un claro ejemplo de esto se puede apreciar en el área de la robótica móvil en sus diversas aristas, y una de las formas en la cual se generan muchos desarrollos es justamente las competencias académicas de robots entre diferentes instituciones educativas o grupos de investigación independientes.

Entre las diferentes categorías de robótica de competencia se ha considerado el diseño de un robot trepador por el desafío que conlleva realizar un movimiento vertical con la adherencia suficiente para que el robot no caiga y a la vez tener un diseño adecuado para que su peso no genere una carga excesiva y termine en un descenso inesperado. Este reto además comprende un buen desarrollo del sistema energético para poder proveer al robot de la cantidad de movimiento necesaria para llevar a su objetivo en el menor tiempo que sea posible.

El desarrollo de este proyecto se encuentra esquematizado y detallado en los diferentes capítulos de esta memoria técnica. En la primera sección llamada el Problema se describe la motivación y la problemática planteada a ser atendida y resuelta por la solución propuesta. En el segundo capítulo, Marco teórico, se describen las bases teóricas, descripción de elementos e información relevante al proyecto desarrollado. Los procedimientos del desarrollo, diseño mecánico, diseño electrónico y eléctrico, programación y establecimiento de la comunicación para el control del robot, se encuentra en el capítulo 3 denominado Marco metodológico. El desempeño y registro del comportamiento obtenido por el prototipo se encuentra en la sección de resultados. Finalmente se procede con las conclusiones y recomendaciones obtenidas luego de todo el proceso.

2. EL PROBLEMA

2.1. ANTECEDENTES

En las competencias de robótica es un hecho irrefutable que la activación manual de los prototipos es sumamente ineficiente y arcaica, puesto que si al realizar este proceso y si se llegase a rozar la parte motriz del equipo existe la posibilidad de que la dirección proyectada cambiase perjudicando de manera colateral el rendimiento del equipo. Además, incrementa la posibilidad de generar otros tipos de vicisitudes como la desconexión de cables de alimentación y la generación de cortes eléctricos del prototipo.

El nivel de competencia del país aumenta de forma progresiva y los prototipos desarrollados por la institución pueden quedarse atrás en términos de rendimiento por falta de innovación y mejora continua. Esto implica el cambio de tecnología para poder implementar instrumentos de monitoreo y nuevos algoritmos para control y cumplimiento de tareas.

Y debido a esto se planteó la propuesta presente buscando así no solo mitigar estos problemas, sino presentar una opción mucho más viable en la activación de los robots.

2.2. IMPORTANCIA Y ALCANCE

La importancia del proyecto radica en la habilidad de generar una solución integral para el problema del desplazamiento vertical sobre una superficie metálica, así como la aplicación de conocimientos de diseño electrónico, programación en plataformas de libre acceso, selección de elementos motrices, entre otros. Esto ayuda al lector con la comprensión del funcionamiento y enlace de sistemas mecánicos y electrónicos con tecnología actual. Cabe mencionar que en este proyecto se hace uso de las nuevas tendencias para prototipado tal como lo es la fabricación aditiva o impresión 3D.

Este proyecto contribuye a tener una guía para desarrollo de robots con movilidad vertical y desde el punto de vista académico tener más posibilidades en competencia de robots que incluyan esta categoría. Todos los estudiantes de la carrera e ingenierías saldrán beneficiados con el desarrollo del tema ya que tendrán acceso al desarrollo en el portal institucional.

2.3. DELIMITACIÓN

Espacial: El proyecto se ha desarrollado en la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil.

Temporal: El diseño e implementación se ha realizado en un tiempo aproximado de un periodo académico, desde mayo a agosto del 2023.

Académica: Para el presente desarrollo se han considerado múltiples aspectos y criterios aprendidos durante el transcurso de la carrera de Electrónica y Automatización en conjunto con experiencia obtenida a través de proyectos personales en el área de la robótica.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un robot trepador basado en imanes, mediante de una aplicación móvil.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar la estructura utilizando el software Fusion 360 de Autodesk.
- Implementar el diseño realizado a través de impresión 3D.
- Realizar el respectivo estudio de ubicación de componentes electrónicos.
- Realizar las pruebas de comunicación inalámbricas con las distintas funciones a operar en el robot.

4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

4.1. ROBÓTICA

La robótica es el campo de la ingeniería y la ciencia de la computación que se ocupa del diseño, construcción, operación y aplicación de robots, así como el desarrollo de sistemas inteligentes para controlar y automatizar procesos (Pérez, 2010).

Los experimentos con autómatas se remontan al siglo I d.C., cuando los inventó el matemático e ingeniero Herón. En el siglo XII, un inventor llamado Al Jazari creó en Mesopotamia los primeros autómatas que se parecían a los humanos. Este grupo de inventores "robóticos" utilizó el agua para impulsar un mecanismo y tocar cuatro instrumentos musicales diferentes (Duran & Thill, 2012).

4.2. ROBOT TREPADOR

Un robot trepador es un robot diseñado para trepar o escalar superficies verticales u horizontales. Estos robots pueden tener una variedad de aplicaciones, como la exploración de edificios o infraestructuras, la inspección de fachadas de edificios, la limpieza de ventanas, la recolección de datos meteorológicos en áreas de difícil acceso, entre otras. Los robots trepadores suelen tener patas o tentáculos articulados que les permiten agarrar y sujetarse a las superficies, y pueden ser controlados manualmente o programados para seguir una ruta predeterminada (Suardiaz, 2006)

La principal característica de los robots trepadores es que se desplazan por pendientes o superficies verticales o áreas a las que necesitan agarrarse. Su diseño difiere principalmente en el tipo de soldadura y depende en gran medida de la superficie a escalar. A continuación, se detallan varios tipos de un robot escalador (Toca, 2018).

Robot escalador Rower: El robot SCARA cuadrúpedo se desarrolló en 1997 para soldar la parte inferior de la doble cubierta de los barcos, porque el deficiente entorno de trabajo para el operario -humos concentrados, oscuridad e

imprecisiones en la soldadura- podía resolverse construyendo un robot con un operario de 6-DOF que controlara el soplete de soldadura.

Tal cual se muestra en la figura 1 está equipada con un sistema de visión estereoscópica y un punto de control para supervisar los parámetros de soldadura. (Toca, 2018)

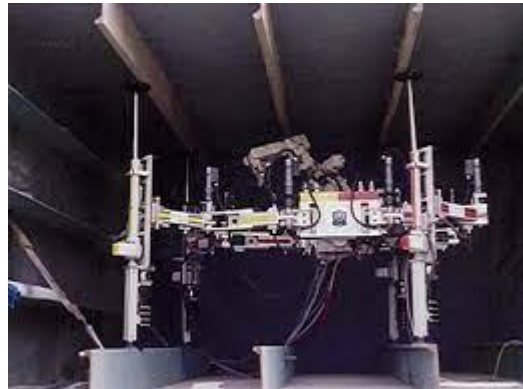


Figura 1. Robot escalador Rower. (Toca, 2018)

Robot escalador Rest-2: En 1997 se construyó un buque del tipo "Loa" para facilitar la soldadura de superficies planas en el interior del casco. Las patas del robot no utilizan ventosas, sino que se sujetan al casco con electroimanes y tienen seis patas como se puede visualizar en la figura 2. (González, 2005)



Figura 2. Robot escalador Rest-2. (González, 2005)

Robot escalador Rosy: Al igual que el Lower, este robot se construyó en 1997 para facilitar la soldadura de superficies planas en el interior de la caja. Este robot no tiene ventosas para las patas, sino que está unido al cuerpo con electroimanes y tiene seis patas. (Toca, 2018)

Robot escalador Raccoon

El robot escalador Raccoon es un robot diseñado para trepar por edificios y otras estructuras verticales utilizando un sistema de patas y garfios. Este robot fue desarrollado por la empresa japonesa Kajima Corporation y ha sido utilizado

en varias ocasiones para realizar tareas de mantenimiento y reparación en edificios altos.

El robot escalador Raccoon es capaz de desplazarse por superficies lisas y rugosas gracias a sus patas articuladas y puede sostenerse a sí mismo mientras trabaja mediante el uso de garfios. Además, el robot está equipado con cámaras y sensores que le permiten detectar obstáculos y evitar colisiones mientras se desplaza, como se puede visualizar en la figura 3. (Suardiaz, 2006)

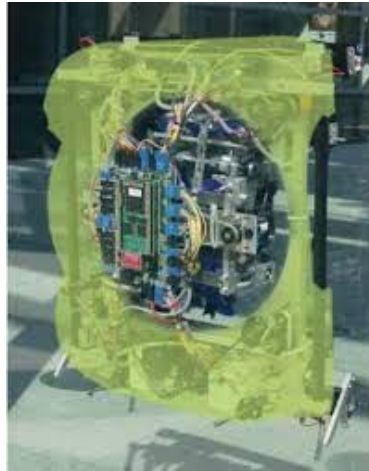


Figura 3. Robot escalador Raccoon. (Rojas, 2016)

Los componentes de un robot trepador pueden variar dependiendo del diseño y la aplicación del robot. Sin embargo, algunos de los componentes comunes de un robot trepador basado en el autor:

- Sistema de locomoción: este es el sistema que permite al robot moverse y trepar por las superficies. Los robots trepadores pueden tener patas articuladas, tentáculos, garfios o cualquier otro tipo de sistema de locomoción diseñado para sujetarse y desplazarse por las superficies.
- Controladores: los controladores son la parte del robot que recibe las órdenes y las convierte en acciones. Los controladores pueden ser de diferentes tipos, como microcontroladores, computadoras o sistemas de control basados en sensores.
- Sensores: los sensores son dispositivos que permiten al robot recopilar información del entorno y utilizarla para tomar decisiones. Los sensores pueden incluir cámaras, sensores de distancia, sensores de movimiento, sensores de temperatura, entre otros.

- **Energía:** el robot trepador necesita una fuente de energía para funcionar. Esto puede ser una batería o un sistema de alimentación externo, como un cable o una toma de corriente.
- **Comunicación:** los robots trepadores a menudo tienen sistemas de comunicación que les permiten enviar y recibir datos y órdenes. Esto puede ser a través de radiofrecuencia, Bluetooth o cualquier otro tipo de tecnología de comunicación inalámbrica.

Otros componentes: dependiendo de la aplicación del robot trepador, pueden incluirse otros componentes como herramientas, cámaras de alta resolución, sistemas de iluminación, entre otros.

4.3. **ROBOT TREPADOR BASADO EN IMANES**

Es un tipo de robot que utiliza imanes para trepar por superficies metálicas. Estos robots pueden ser muy útiles en aplicaciones industriales, por lo cual pueden moverse por estructuras metálicas sin necesidad de ruedas. También pueden ser utilizados en aplicaciones de exploración y rescate, ya que pueden trepar por estructuras de acero en ruinas o derrumbes. Los robots trepadores basados en imanes pueden ser controlados de manera remota o pueden ser programados para seguir una trayectoria predeterminada, como se puede visualizar en la figura 4. (González, 2005)



Figura 4. Robot escalador Rize. (Toca, 2018)

4.4. MOTOR SIN ESCOBILLAS

Un motor de corriente continua sin escobillas (BLDC) es un tipo de motor eléctrico que utiliza electricidad de corriente continua (CC) para generar movimiento de rotación.

A diferencia de los motores de CC tradicionales, que utilizan escobillas para transferir energía eléctrica al rotor, los motores sin escobillas utilizan la conmutación electrónica para controlar la corriente que fluye a los devanados del rotor. Esto permite un control más preciso del motor y elimina la necesidad de sustituir la escobilla y el conmutador, lo que prolonga la vida útil del motor. Se suelen utilizar en aplicaciones que requieren una alta eficiencia y un control preciso, como en vehículos eléctricos, drones y equipos industriales de precisión (Jimbo, 2017). En la siguiente figura 5 se puede observar la estructura interna típica de un motor sin escobillas (brushless):

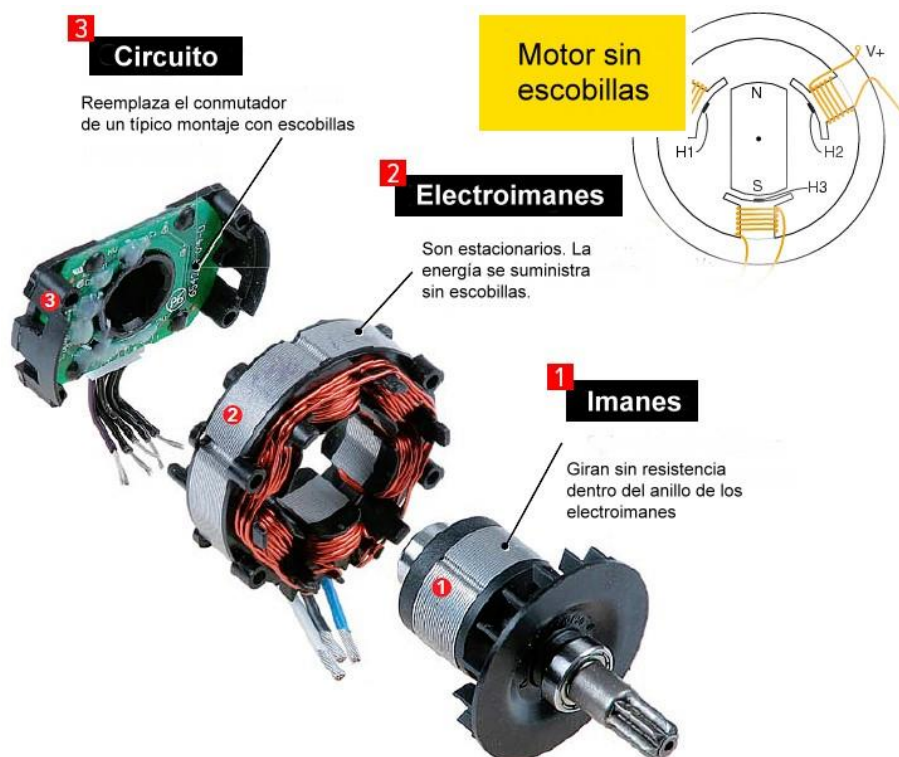


Figura 5. Estructura típica de un motor sin escobillas. (Maquinas y Herramientas, 2018)

4.5. APLICACIONES VÍA REMOTA

Una aplicación móvil es un programa de software diseñado para ser utilizado en dispositivos móviles, como smartphones y tabletas. Las aplicaciones móviles se descargan e instalan a través de plataformas de distribución de aplicaciones, como la App Store de Apple o Google Play Store, y se pueden utilizar para realizar una amplia variedad de tareas, como enviar mensajes, jugar, hacer compras, reservar citas, escuchar música, ver películas, entre otras.

Las aplicaciones móviles son muy populares debido a su conveniencia y facilidad de uso, y se han vuelto una parte esencial de la vida cotidiana de muchas personas (Cabrera, 2016).

4.6. ROBÓTICA MÓVIL

Un robot móvil es un sistema con tecnología robótica destinado a transportar múltiples materiales o cargas de manera totalmente autónoma. (Revista de Robots, 2023)

Los robots controlados por smartphone son robots móviles que pueden ser dirigidos y controlados a través de una aplicación de smartphone. Estos robots suelen tener capacidades de conectividad inalámbrica, como Wi-Fi o Bluetooth. Estos tipos de robots pueden utilizarse en diversas aplicaciones, como el entretenimiento, la educación y la vigilancia. (Toca, 2018)

Algunos ejemplos de robots basados en los autores (Gaona & Cortez, 2018) que pueden controlarse con smartphones son:

- Coches teledirigidos y drones.
- Robots educativos que pueden programarse para realizar diferentes tareas.
- Robots de telepresencia que pueden controlarse a distancia para moverse e interactuar con su entorno.
- Robots de vigilancia que pueden controlarse a distancia para acceder y vigilar lugares de difícil acceso.

En lo académico se han desarrollado diferentes prototipos para robots trepadores considerando diferentes tecnologías y con mayor énfasis en las competencias de robótica del país. Dicho esto, se podría mencionar el robot

realizado en la sede Quito de la Universidad Politécnica Salesiana el cual se maneja con electroimanes que soporten la carga del prototipo, sensores inductivos y motorreductores rápidos con buen torque. En la figura 6 se puede observar el diseño propuesto en conjunto con la electrónica de control y fuerza, así como la dimensión aproximada del mismo. (Uvillus, 2023)

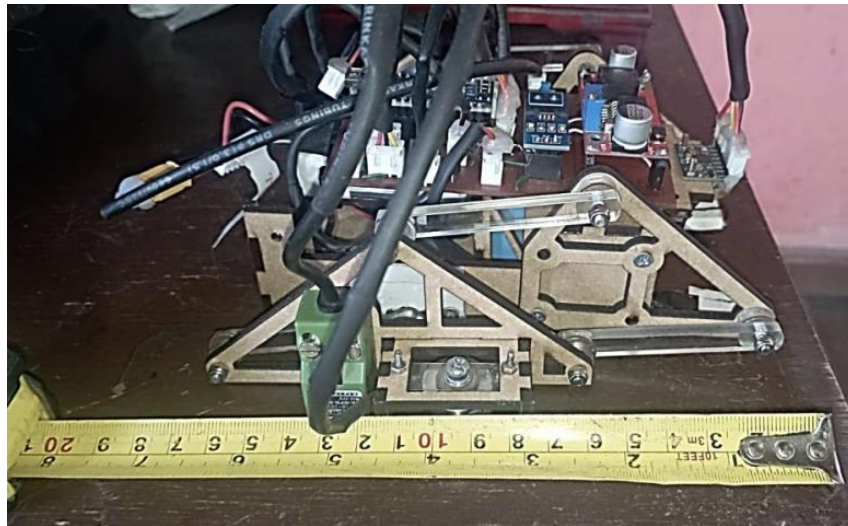


Figura 6. Robot trepador UPS-UIO

En una forma de combinar los conceptos académicos con la empresa, se han desarrollado aportes para la solución de problemas que incluyen el desafío de movimiento vertical para tareas específicas. Esto se puede evidenciar en el robot propuesto por la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito que solucione principalmente la dificultad de escalar vidrios sin depender de actuadores eléctricos o maquinas succionadoras externas para facilitar la manipulación de las personas con el robot. (Molina, 2012)

5. MARCO METODOLÓGICO

En el presente capítulo se muestra el desarrollo del robot considerando los pasos respectivos desde la planificación hasta las pruebas respectivas. En el diagrama de bloques adjunto se muestra en la figura 7 el proceso respectivo.



Figura 7. Diagrama de bloques del proyecto

A continuación, se explica con detalle los aspectos más importantes del diseño e implementación del robot.

5.1. DISEÑO MECÁNICO

El diseño del robot se ha realizado utilizando el software Fusion360 de Autodesk en el cual se realizó de manera individual cada elemento o pieza para luego realizar un ensamble respectivamente. Se ha hecho uso de este software para diseño ya que a través del mismo se puede obtener una visualización previa prototipo y a la vez permite obtener fácilmente los respectivos planos con las

cotas necesarias para la comprensión y la implementación como paso futuro. En la figura 8 se tienen tres vistas distintas (planta, lateral e isométrico) en tres dimensiones con las respectivas dimensiones.

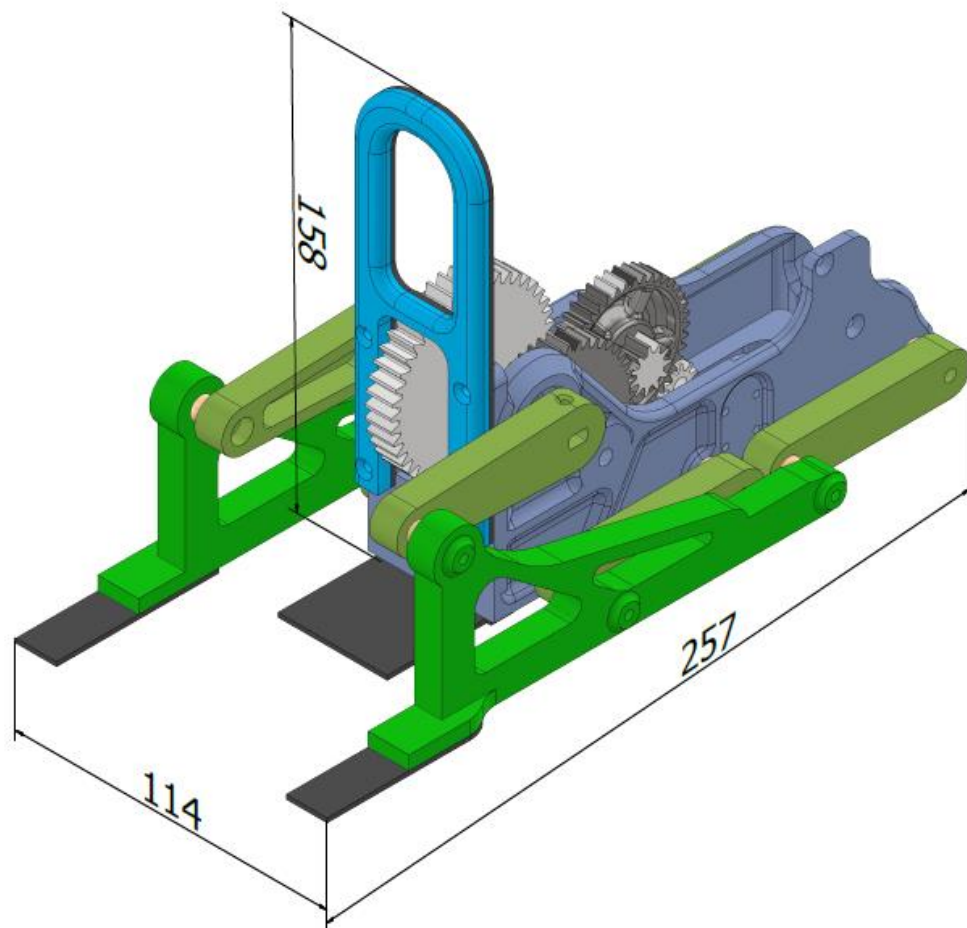


Figura 8. Vista lateral, superior e isométrica del robot trepador [mm]

A continuación, se muestra el proceso de ensamblaje utilizando el software de diseño y considerando las diferentes piezas diseñadas de forma independiente. En la figura 9 se puede apreciar el primer paso, lo cual inicia con la impresión en PLA del chasis.

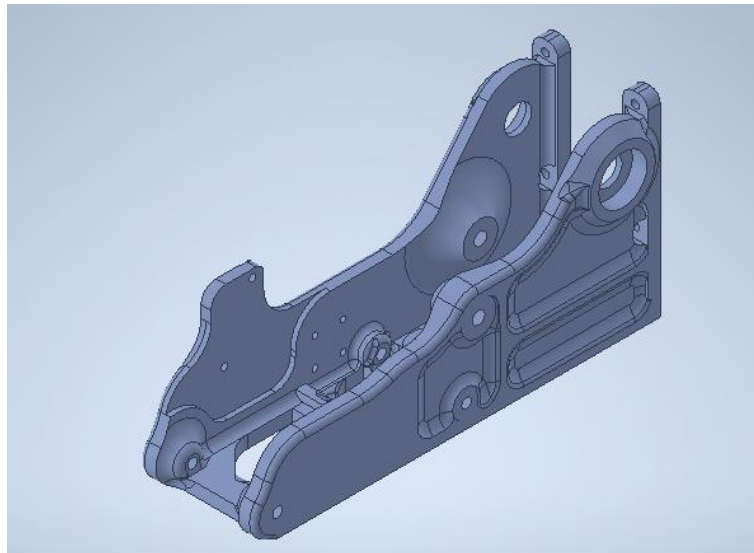


Figura 9. Paso1 de ensamblaje.

Como paso siguiente se procede con la instalación del chasis que sujetara al robot tal como se muestra en la figura 10 de color negro. Estos ayudarán al prototipo para facilitar el agarre para la colocación y desprenderlo de la pared metálica.

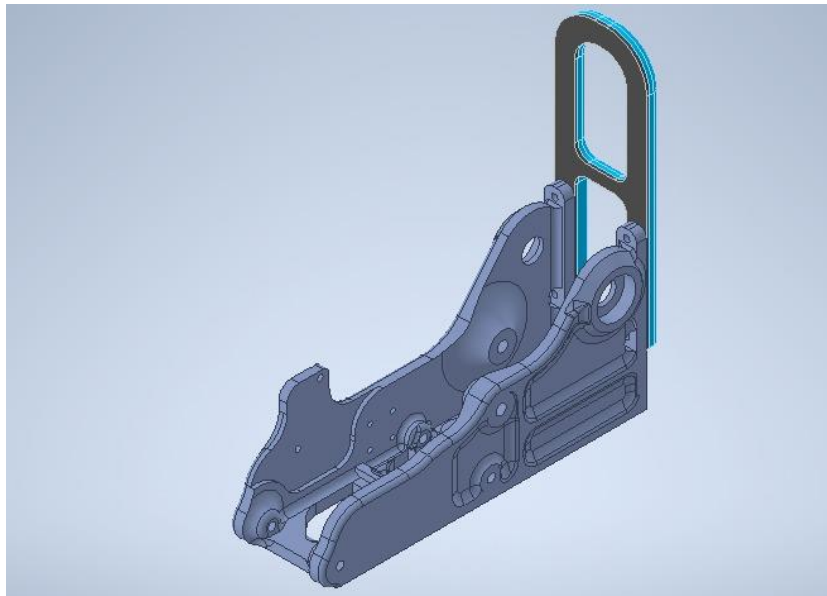


Figura 10. Paso2 de ensamblaje.

Como tercer paso se procede con la colocación de los engranajes que ayudan a disminuir la velocidad del motor para dar más torque y así poder moverse. En la figura 11 se visualiza los engranajes colocados.

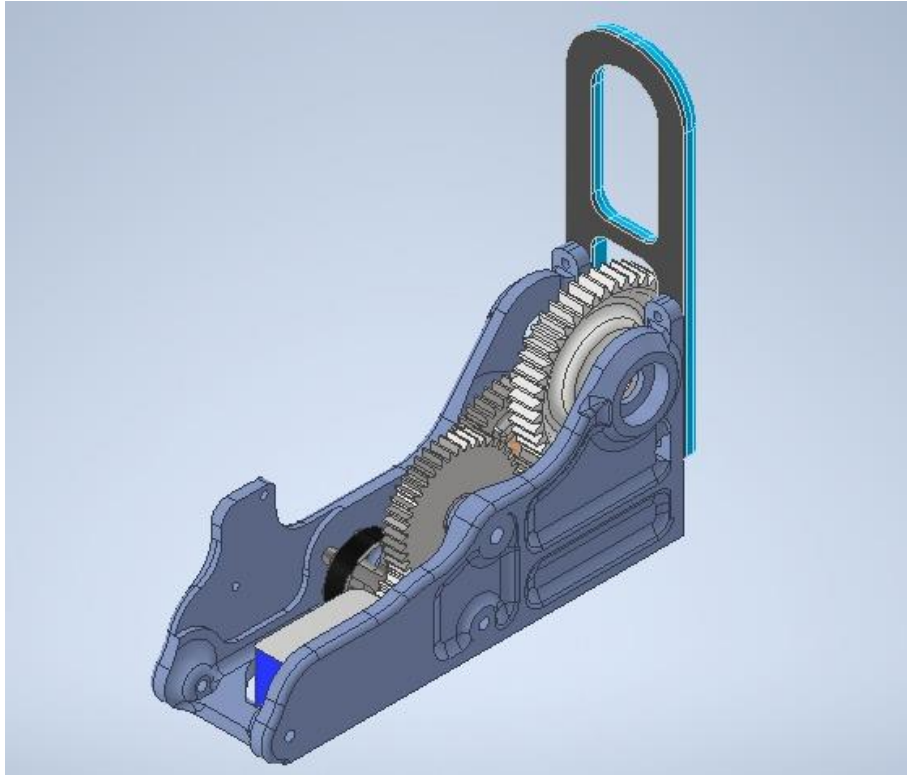


Figura 11. Paso3 de ensamblaje.

Como cuarto paso se tiene la instalación de los seis brazos que serán piezas fundamentales para generar el contacto adecuado del robot con la superficie a recorrer durante la puesta en marcha. Es muy importante tener correctamente alineadas los brazos y de forma paralela para evitar un desnivel al momento de la caminata y así no perder la adherencia con la pista, tal como se puede ver en la figura 12.



Figura 12. Paso 4 de ensamblaje.

A continuación, se procede con el montaje de las dos patas que sujetarán todo el chasis del robot. En la figura 13 se puede apreciar lo mencionado.

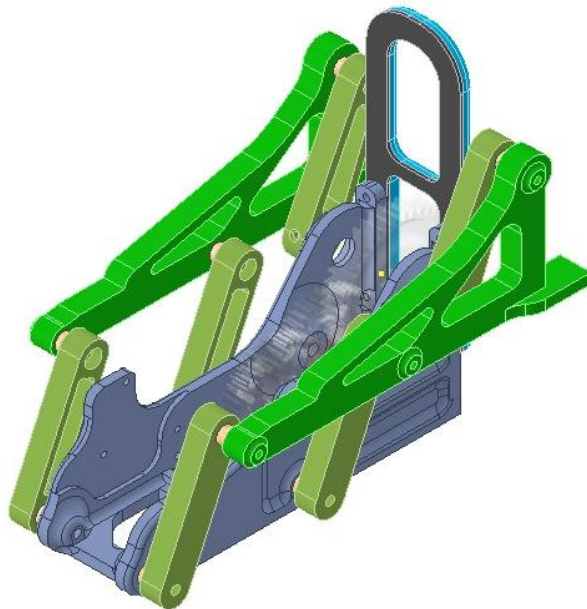


Figura 13. Paso 5 de ensamblaje.

El siguiente paso corresponde a la instalación de las (lenguas) de la estructura del robot. Esta ayudará con la colocación de los imanes estratégicamente para su perfecta movilización tal como se puede visualizar en la figura 14.

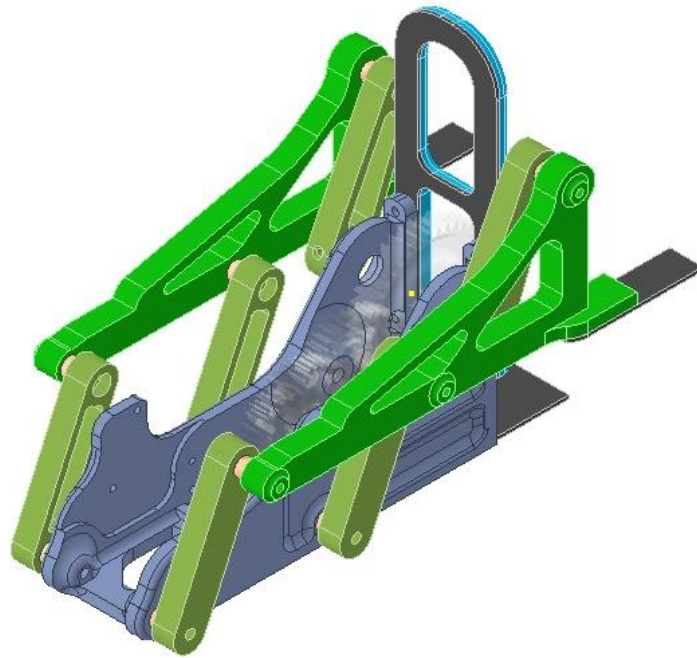


Figura 14. Paso 6 de ensamblaje.

Como séptimo y último paso se encuentra el montaje de las partes electrónicas tales como son: el esp 32, regulador de voltaje, brushless, esc y batería. Adicional se coloca sus respectivos imanes para la sujeción del robot en la pared metálica, ya que son elementos vitales para que el robot pueda lograr su objetivo. En la figura 15 se puede visualizar el montaje final.

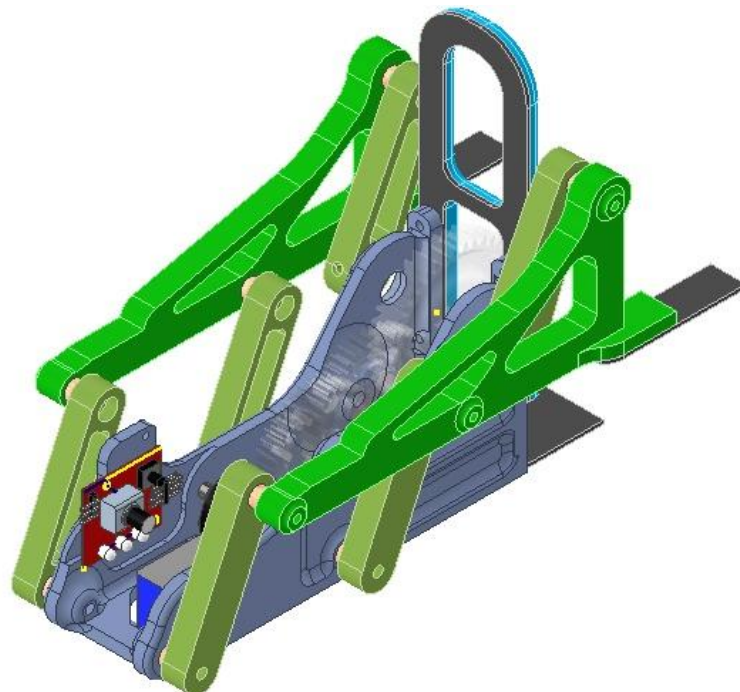


Figura 15. Paso 7 de ensamblaje.

En la figura 16 siguiente se muestran alguna estructura que son pasos de la implementación considerando la impresión 3D y los componentes principales.

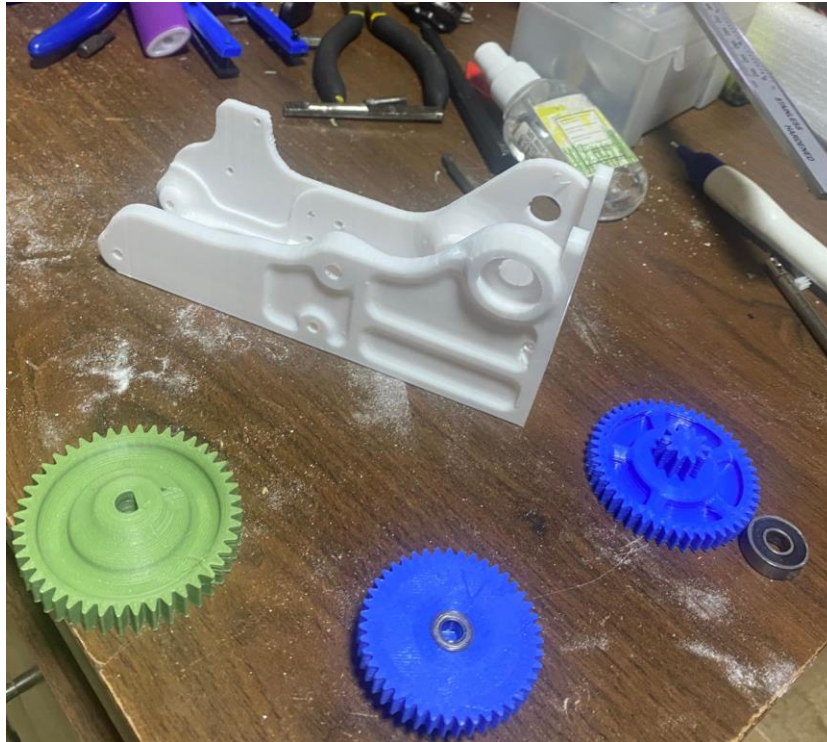


Figura 16. Estructura en Impresión 3D de elementos diseñados.

5.2. DISEÑO ELECTRÓNICO

Una vez realizado el montaje de lo diseñado previamente, se procede con las conexiones eléctricas de los diferentes elementos electrónicos para control y fuerza. En el diagrama adjunto, se puede observar en la figura 17 breves rasgos la interacción entre los diferentes competentes.

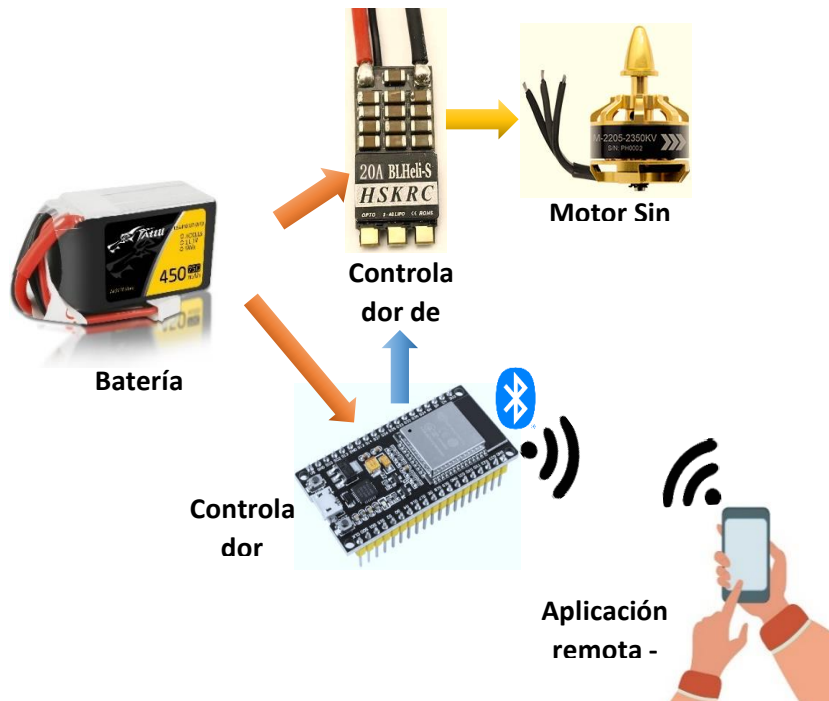


Figura 17. Diagrama de bloques de componentes utilizados.

Los materiales utilizados en el presente proyecto se muestran en la tabla adjunta y mas adelante se describe la utilización de estos.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
ESC 20 motor brushless BLHELI-S SKRC	1
EMAX M-2205-2350kv	1
Filamento para impresora 3D PETG	1
Cable paralelo de silicona 20awg	1
Batería de LIPO 3S 450mA	1
ESP WROOM 32	1

Tabla1. Componentes utilizados en el proyecto.

Para empezar con el desarrollo se tiene la utilización de un motor sin escobillas EMAX M-2205-2350kv, el cual garantizará la velocidad necesaria en el eje conectado con las patas del robot.

Según las especificaciones se puede apreciar que este motor cuenta con una constante kv de 2350 rpm por cada voltio aplicado por el controlador. Obviamente durante la etapa de pruebas iniciales se realiza el respectivo ajuste de velocidad para llegar a un punto de equilibrio entre rapidez y funcionalidad de las bandas en las poleas evitando así el deslizamiento por una velocidad alta y bajo torque.

Como controlador de motor se tiene el ESC 20 MOTOR BRUSHLESS BLHELI-S HSKRC, el mismo que aplicará la potencia requerida por el motor para cumplir la tarea de ascenso contrarrestando los efectos de la gravedad y adherencia del robot a través de los imanes permanentes.

Para controlar el encendido, apagado y la velocidad aplicada al robot se ha utilizado la placa de control ESP WROOM 32 en conjunto con una aplicación remota que puede ser ejecutada en un dispositivo inteligente (celulares o tabletas) vía bluetooth.

Para controlar la alimentación tanto del controlador de motor y de la placa ESP32 se ha instalado un interruptor conectado al positivo de la fuente. La fuente de energía utilizada corresponde a una batería de polímero de litio (LIPO) de 11.1V 3S 450 mAh 75C con enchufe JST, eso permite al robot tener la autonomía suficiente para cumplir la tarea de ascenso en varias repeticiones. Hay que considerar que el consumo de corriente la placa ESP32 es de aproximadamente 80mA y el consumo de corriente del controlador ESC dependerá de la velocidad configurada en la aplicación remota. Pero a modo de ejemplo considerando que la controladora consuma 2A, el consumo total sería de 2800mA.

Considerando el valor de consumo previo y las características de la batería 450mAh, se podría calcular el tiempo aproximado de trabajo continuo con la siguiente ecuación 1.

$$\left(\left[\frac{450}{2800} \right] \frac{\text{mAh}}{\text{mA}} \right) = 0,16071h = 9.64min \quad (1)$$

Cabe recalcar que estos valores podrían cambiar dependiendo de los parámetros configurados y del respectivo mantenimiento mecánico que se dé al robot, ya que al haber fricción, desgaste, deslizamiento u otros, entonces el consumo de corriente cambiará.

Cabe mencionar que para la conexión apropiada de la placa controladora ESP se ha diseñado una tarjeta de circuito impreso en la cual se han ubicado bornas de tornillo color verde. Esto se puede evidenciar en la figura 18 y 19, donde se muestran dos vistas distintas de la placa diseñada en el software Proteus considerando los componentes ISIS y ARES.

Adicionalmente se debe considerar que para la implementación del cableado se ha utilizado un calibre que permita la circulación de corriente necesaria y a la

vez no incremente en demasía el peso del robot por efectos de conexiones eléctricas. Para este caso se cuenta con una combinación de cable 18AWG para fuerza y 20 AWG para control.

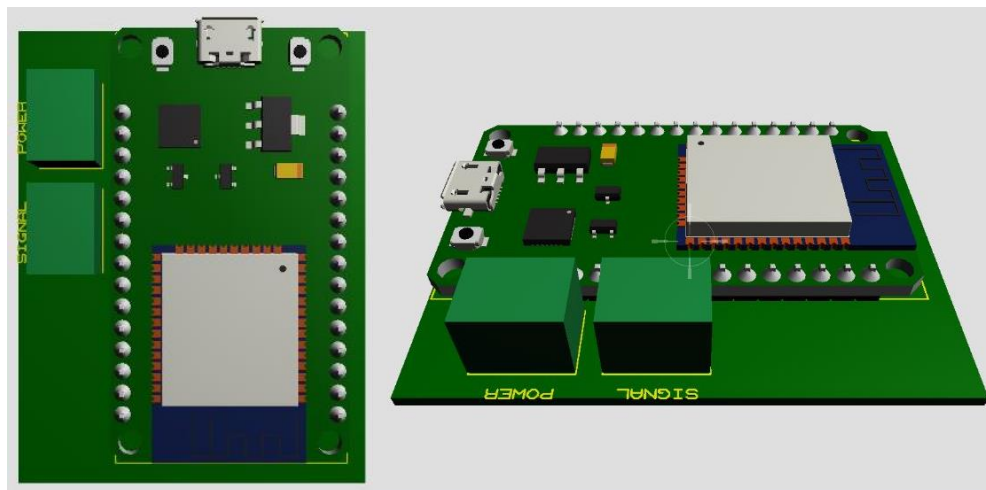


Figura 18. Tarjeta de circuito impreso para ESP32.

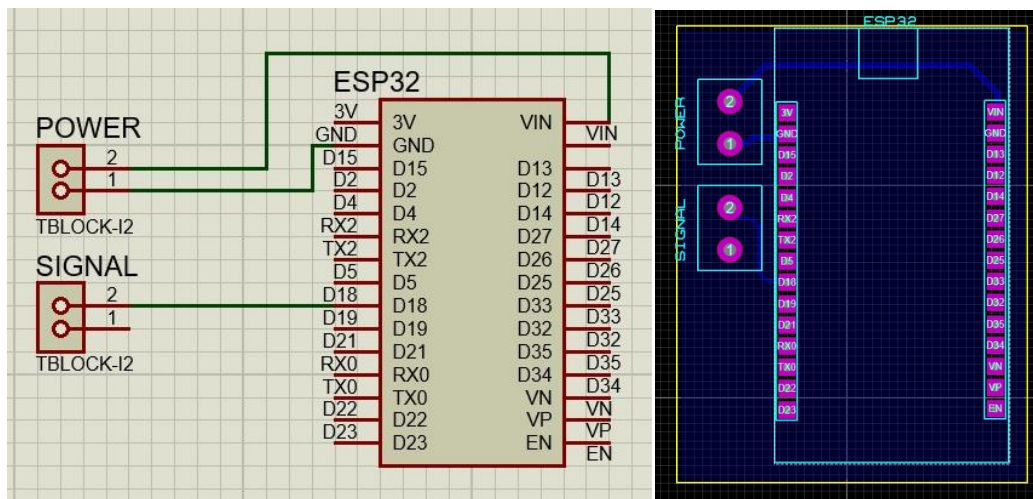


Figura 19. Conexiones para ESP32.

5.3. DESARROLLO DE APLICACIÓN REMOTA

Para control de avance y parada del robot se ha considerado el uso de una aplicación remota utilizado AppInventor sobre un teléfono inteligente. Este consta de una interfaz sencilla y fácilmente manipulable por el usuario, tal como se muestra en la figura 20. En la aplicación se puede apreciar algunos elementos para control del robot, entre ellos se puede observar dos botones para iniciar y detener el ascenso del robot. Así también se puede observar una barra horizontal que permitirá cambiar el ciclo de trabajo (*duty cycle*) de la señal de amplitud

modulada (PWM) que se aplica al controlador de potencia; en esta barra se pueden configurar 10 niveles distintos de rapidez y se puede observar el valor en el indicador de texto que se encuentra en la parte inferior.



Figura 20. Aplicación para control remoto.

La programación de la interfaz remota se realizó mediante la utilización de bloques funcionales tal como se realiza en otras plataformas educativas. Esto presenta ventajas en tanto a la facilidad de edición y ajustes a realizar luego de pruebas iniciales. La programación propuesta se puede apreciar en la figura 21, donde se diferencian los diferentes comandos a través de diversos colores y con la similitud de comandos que se usan en lenguaje textual en inglés.

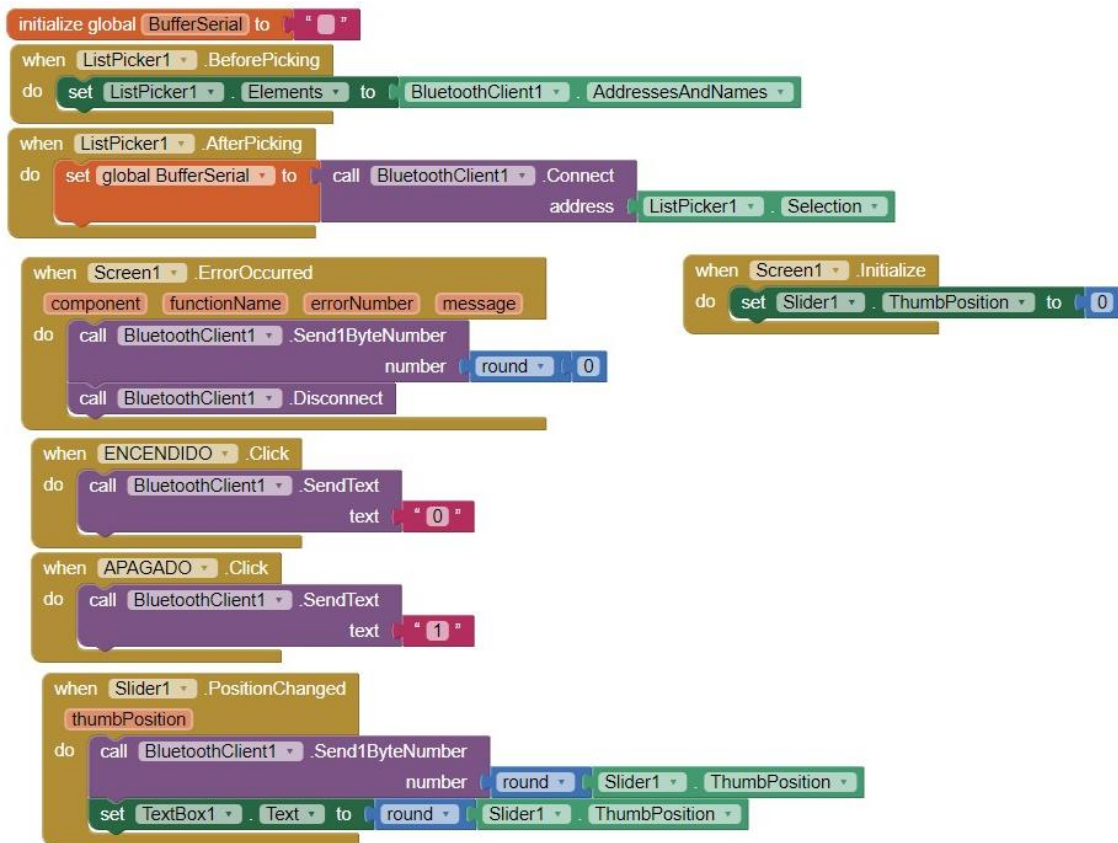


Figura 21. Programación de APK.

5.4. PROGRAMACIÓN DEL CONTROLADOR ESP32

La programación del controlador se realizó haciendo uso del software libre Arduino IDE gracias a la compatibilidad entre este software y el hardware utilizado. Dentro de la programación se utiliza la librería ESP32Servo para así tener a disposición múltiples comandos para el control del motor a través de la modulación de señales en el pin 18. Adicional a ello se hace uso de la librería BluetoothSerial para habilitar las funcionalidades y comandos relativos a la comunicación inalámbrica utilizada en el robot. En la sección void setup() se realizan las configuraciones de hardware para inicializar y en dentro de void loop se cuenta con el algoritmo principal compuesto por comandos de decisión if-then-else para poder seleccionar las acciones a ejecutar según la orden enviada desde la aplicación remota. A continuación, se muestra la programación a detalle para su comprensión y análisis.

```

1  #include <ESP32Servo.h>
2
3  Servo myservo; // create servo object to control a servo
4  int pos = 0; // variable to store the servo position
5  int servoPin = 18;
6  #include "BluetoothSerial.h"
7  #if !defined(CONFIG_BT_ENABLED) || !defined(CONFIG_BLUEDROID_ENABLED)
8  #error Bluetooth is not enabled! Please run `make menuconfig` to and enable it
9  #endif
10
11  BluetoothSerial SerialBT;
12
13  int dato;
14  int velocidad;
15  bool funciona = false;
16
17
18  void setup();
19  void loop();
20
21  void setup() {
22
23      // Allow allocation of all timers
24      ESP32PWM::allocateTimer(0);
25      ESP32PWM::allocateTimer(1);
26      ESP32PWM::allocateTimer(2);
27      ESP32PWM::allocateTimer(3);
28      myservo.setPeriodHertz(50); // standard 50 hz servo
29      myservo.attach(servoPin, 1000, 2000); // attaches the servo on pin 18 to the servo object
30
31      Serial.begin(115200);
32      SerialBT.begin("ESP32test"); //Bluetooth device name
33
34      Serial.println("The device started, now you can pair it with bluetooth!");
35  }
36
37  void loop() {
38      if (SerialBT.available()) {
39          dato = (int)SerialBT.read();
40
41          if (dato == 48) {
42              //programa para encender
43              funciona = true;
44          }
45          else if (dato == 49) {
46              //programa para apagar
47              funciona = false;
48              myservo.write(0); // tell servo to go to position in variable 'pos'
49              delay(15);
50          }
51          if (funciona == true) {
52              if (dato < 10)
53              {
54                  velocidad = dato * 25.5;
55                  pos = map(velocidad, 0, 255, 0, 180);
56                  myservo.write(pos); // tell servo to go to position in variable 'pos'
57                  delay(15);
58              }
59          }
60          else {
61              velocidad = 0;
62          }
63          Serial.print((int)funciona);
64          Serial.print("--");
65          Serial.println((int)velocidad);
66          delay(20);
67      }
68  }
69  }

```

6. RESULTADOS

6.1. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

En este proceso se ha considerado el diseño a través de software tipo CAD, Fusion 360 de Autodesk, con miras a la implementación del mismo a través de impresión 3D. Naturalmente esto es posible gracias al avance de las herramientas de software que permite exportar estos diseños hacia los programas tipo CAM que manejan las impresoras 3D o controles numéricos computarizados, en la figura 22 se visualiza la dicha prueba.



Figura 22. Robot implementado.

El uso de herramientas computacionales para diseño permite tener una vista previa de cómo quedaría el robot antes de empezar con la implementación y a la vez permite estudiar si la ubicación de los componentes resulta correcta o tal vez podría tener problemas con el cableado.

Así también, se ha podido establecer de forma correcta la comunicación entre el robot y la aplicación remota a través de bluetooth, lo cual permite al operador tener más control del prototipo, como evidencia de lo dicho en la figura 23 se puede ver la comunicación del robot a la app. Cabe resaltar que en las pruebas iniciales esta interfaz fue de gran ayuda para poder encontrar el punto de equilibrio entre la velocidad del robot y la funcionalidad del robot, es decir, tener un punto ideal para que el robot pueda ascender con la mayor velocidad posible. Se consideró también las en valores mínimos en las cuales se verificó el valor mínimo de velocidad para que el robot comience a trabajar, ya que puede darse el caso en el que el valor aplicado sea tan bajo que el torque aplicado al motor no rompa la inercia y no se genere el movimiento vertical. Por ello ha resultado una excelente herramienta de ajuste.

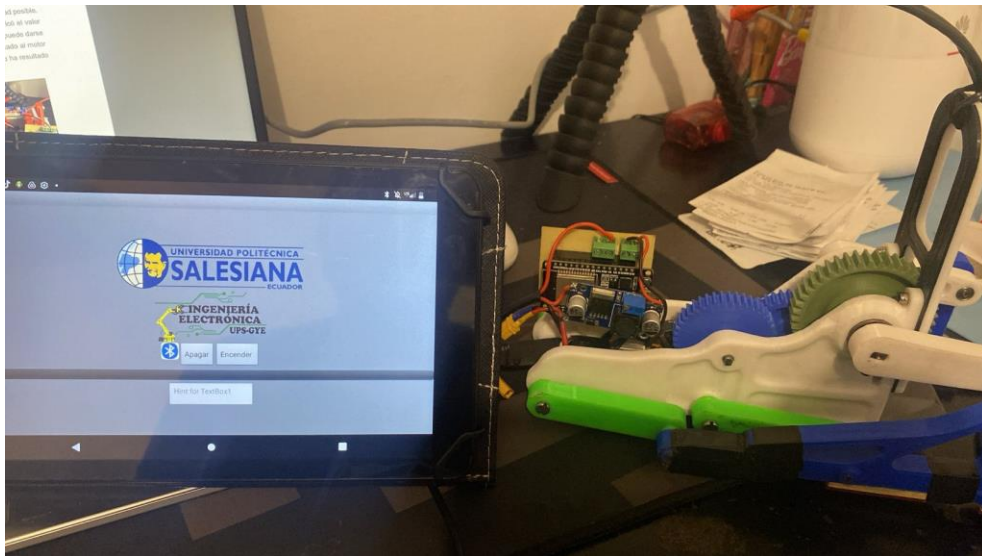


Figura 23. Robot y aplicación inalámbrica en funcionamiento.

Antes de proceder con las pruebas del prototipo en la pista vertical, se realiza la puesta en marcha a vacío manteniendo el robot elevado y así evitar problemas de motricidad. En la figura 24 se puede apreciar las pruebas iniciales que se realizaron para evaluar el ensamble y las velocidades de trabajo.

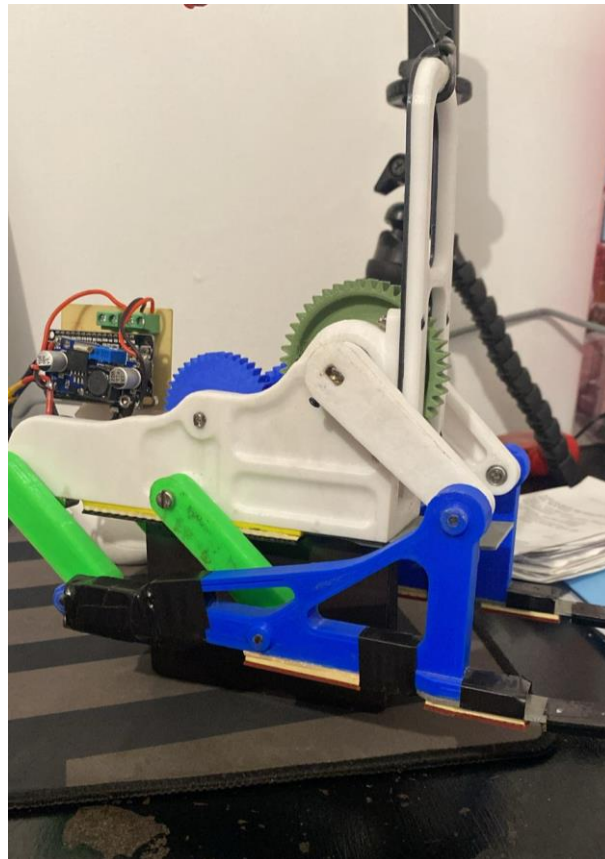


Figura 24. Pruebas iniciales.

Para validar que el prototipo implementado es funcional, se ha realizado diversas pruebas de funcionamiento y así poder comprobar diversos aspectos del robot, tales como: comunicación bluetooth entre celular y autómeta, trabajo continuo de motores sin atasco, desviación de la trayectoria, ascenso correcto en la plancha metálica vertical, velocidad de trabajo y tiempos de subida. Este último parámetro resulta importante ya que con ello se podría observar que tan competitivo es y así poner a prueba el mismo, a través de comparación, con diversos modelos que se proponen a nivel académico en instituciones de educación superior. Para tal efecto se puso a prueba el robot por 5 ocasiones para medir el tiempo de subida, lo cual puede observarse en la tabla 2.

N° de prueba	Tiempo de subida [seg.]
1	5
2	4
3	4,5
4	5,5
5	5
Promedio:	4,8

Tabla2. Tiempos de subida en pruebas realizadas.

Como se puede apreciar en el desarrollo de este proyecto, es importante comenzar con un buen diseño considerando no solamente los mecanismos a implementarse sino también los componentes eléctricos y electrónicos respectivamente. Finalmente, como se muestra en la figura 25, el robot cumple con la tarea solicitada y responde como se esperaba inicialmente.

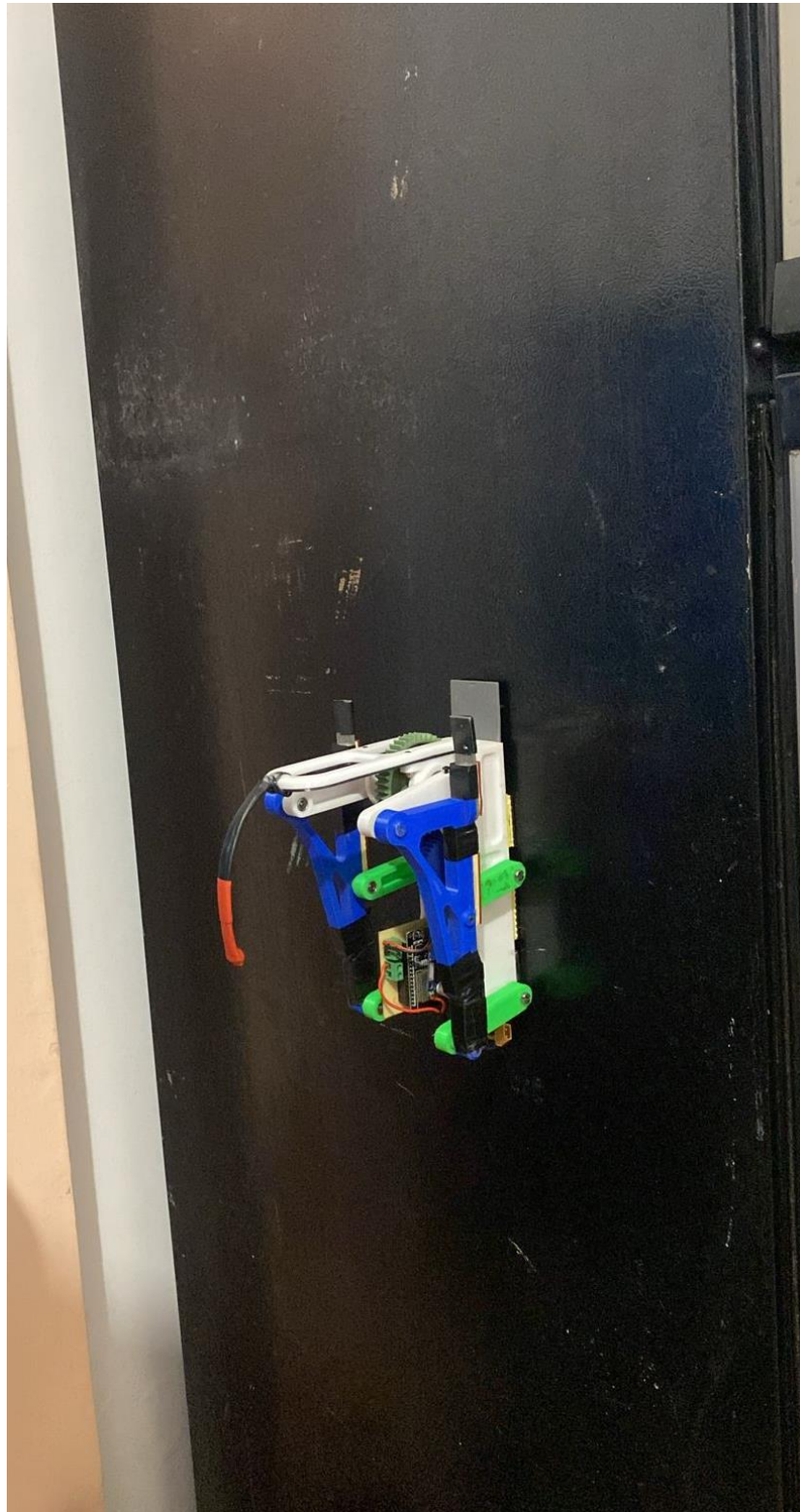


Figura 25. Pruebas en pista vertical.

7. CRONOGRAMA

A continuación, el cronograma de actividades para la realización de este proyecto, así como también las actividades realizadas y el tiempo que se tomó respectivamente.

CRONOGRAMA DEL PROYECTO						
DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES	SEMANAS					
	1	2	3	4	5	6
Diseño estructural utilizando el software Fusion360.	■					
Adquisición de materiales a utilizar.		■				
Impresión de estructura en 3D.			■			
Implementación de la estructura impresa en 3D y sus componentes electrónicos.				■		
Puesto en marcha del prototipo y verificación de comunicación inalámbrica para control del robot.				■	■	
Ajustes de velocidad y mejoras respectivas.					■	
Desarrollo de la documentación.		■	■	■		
Proceso de revisión.					■	■

Tabla3. Cronograma de actividades.

8. PRESUPUESTO

A continuación, el presupuesto que se utilizó para el proyecto de robot trepador.

PRESUPUESTO DEL PROYECTO			
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
ESC 20 motor brushless BLHELI-S SKRC	1	\$30	\$30
EMAX M-2205-2350kv	1	\$40	\$40
Filamento para impresora 3D PETG	1	\$38	\$38
Cable paralelo de silicona 20 awg	1	\$20	\$20
Batería de LIPO 3S 450mA	1	\$35	\$35
ESP WROOM 32	1	\$30	\$30
		TOTAL:	\$193

Tabla4. Presupuesto Final.

El costo del robot (componentes y ensamblaje) ha sido financiado en su totalidad por el autor del proyecto de titulación.

9. CONCLUSIONES

- El diseño de la estructura del robot con el software Fusion360 de Autodesk se realizó con éxito y a la vez presentó múltiples ventajas en cuanto al tiempo de edición y ajustes que daban durante el proceso de implementación y pruebas. Adicional a ello ha permitido obtener de forma simple y didáctica las diversas vistas acotadas bajo normativas de diseño mecánico.
- Se implementó el diseño realizado mediante software usando fabricación aditiva (impresión 3D) utilizando PLA, en lo que se pudo observar la flexibilidad y robustez adecuada para la aplicación propuesta.
- La comunicación inalámbrica se estableció exitosamente logrando obtener comando del robot y monitoreando múltiples variables de relevancia para el proyecto planteado.
- El correcto análisis de los componentes electrónicos previo a la implementación genera un acierto a la hora de la implementación ya que se evita gastos innecesarios por incompatibilidad y cantidad de señales.

10. RECOMENDACIONES

- Se recomienda tener el mantenimiento periódico de las partes móviles del robot y en caso de ser necesario aplicar la lubricación respectiva y evitar que se generen fuerzas excesivas por rozamiento y atasco.
- Monitorear que la descarga de la batería no sea excesiva ya que un nivel muy bajo de la misma podría provocar la disminución de su vida útil y en el peor de los casos el daño de la misma.
- Como trabajo futuro se podría considerar el uso de otras tecnologías para el seguimiento de trayectorias tal vez como visión artificial, así como el uso de otros métodos de sujeción como ventosas para aplicaciones variadas.
- Verificar que las partes móviles no entren en contacto con cables y tarjetas de control o fuerza para evitar que disminuya el número de reparaciones y pruebas con el robot.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cabrera, J. (2016). Desarrollo de algoritmos de programación para diferentes aplicaciones prácticas en el robot bioloid. Recuperado el 06 de 08 de 2022, de Repositorio Universidad Católica de Santiago de Guayaquil: <http://201.159.223.180/bitstream/3317/7685/1/T-UCSG-PRE-TEC-ITEL-183.pdf>
- Duran, B., & Thill, S. (2012). Rob's Robot: Current and Future Challenges for Humanoid Robots. intech.
- Gaona, A., & Cortez, B. (2018). Diseño y construcción de una plataforma de robot móvil teleoperada a bajo costo para interiores . Recuperado el 08 de 11 de 2023, de <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/cienciaytecnologia/article/view/794>
- González, A. (2005). Aplicación de la Tecnología de componentes Java Beans para realizar el control de un robot trepador. Recuperado el 09 de 01 de 2023, de <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/239/pfc1740.pdf?sequence=1>
- Jimbo, J. (Febrero de 2017). *Caracterización del funcionamiento de un motor eléctrico de corriente continua sin escobillas brushless con 1000 Watts de potencia*. Recuperado el 07 de 01 de 2023, de Universidad Politécnica Salesiana.
- Maquinas y Herramientas. (2 de Febrero de 2018). Obtenido de ¿QUÉ ES LA TECNOLOGÍA BRUSHLESS (SIN CARBONES) Y QUÉ VENTAJAS TIENE?: <https://www.demaquinasyherramientas.com/herramientas-electricas-y-accesorios/tecnologia-brushless-sin-carbones-intro>
- Molina, Ó. L. (Agosto de 2012). *DSpace UPS*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/3876/6/UPS%20-ST000894.pdf>
- Pérez, J. (2010). *Definición de robótica, qué es, significado y concepto*. Obtenido de <https://definicion.de/robotica/>
- Revista de Robots. (24 de Mayo de 2023). *Robótica móvil. Qué es la robótica móvil y para qué sirve*. Obtenido de <https://revistaderobots.com/robots-y-robotica/robotica-movil-que-es-la-robotica-movil-y-para-que-sirve/?cn-reloaded=1>
- Rojas, T. E. (2016). *aprenderlyx*. (Aprender Lyx) Recuperado el 16 de Enero de 2019, de <http://aprenderlyx.com/tipos-de-metodologia-de-investigacion/>
- Suardiaz, J. (2006). *Robot trepador controlado vía radio mediante técnicas de visión por computador*. Recuperado el 09 de 01 de 2023, de <https://repositorio.upct.es/handle/10317/395>
- Toca, L. (noviembre de 2018). *Diseño y construcción de dos robots escaladores con normativas técnicas del concurso Ecuatoriano de robótica*. Recuperado el 09 de 01 de 2023, de Instituto superior tecnológica Vida Nueva: <https://nexoscientificos.vidanueva.edu.ec/index.php/ojs/article/view/6/6>
- Uvillus, M. Á. (10 de Marzo de 2023). *DSpaceUPS*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/24494/1/TTS1238.pdf>

12.ANEXOS

