



Universidad  
Nacional  
de Loja

## Universidad Nacional de Loja

### Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables

#### Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones

#### Diseño e implementación de un prototipo automatizado de silla de ruedas con propulsión eléctrica basada en tecnología de bajo coste.

Trabajo de Titulación previo a  
optar por el Título de Ingeniera en  
Electrónica y Telecomunicaciones

#### **AUTORA:**

Xiomara Anahí Cabrera Ordóñez

#### **DIRECTOR:**

Ing. Christian Hernán Campoverde Ramírez, Mg. Sc.

Loja – Ecuador

2023

## Certificación

Loja, 06 de septiembre de 2022.

Ingeniero

**Christian Hernán Campoverde Ramírez, Mg. Sc.**

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACION

### **Certifica:**

Haber dirigido y asesorado el presente Trabajo de Titulación realizado por la Señorita **Xiomara Anahí Cabrera Ordóñez**, con cédula de identidad **1150281796**, de su trabajo de investigación titulado: **“Diseño e implementación de un prototipo automatizado de silla de ruedas con propulsión eléctrica basada en tecnología de bajo coste”**, previo a la obtención del título de Ingeniera en Electrónica y Telecomunicaciones, el mismo que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, en consecuencia, me permito autorizar su presentación, sustentación y defensa.



Firmado electrónicamente por:  
CHRISTIAN HERNAN  
CAMPOVERDE RAMIREZ

Ing. Christian Hernán Campoverde Ramírez Mg. Sc.

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACION

## **Autoría**

Yo, **Xiomara Anahí Cabrera Ordóñez**, declaro ser autora del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente, acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mí Trabajo de Titulación en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

**Firma:**

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Anahí Cabrera', with a horizontal line underneath.

**Cédula de Identidad:** 1150281796

**Fecha:** 11/01/2023

**Correo electrónico:** [xiomara.cabrera@unl.edu.ec](mailto:xiomara.cabrera@unl.edu.ec)

**Celular:** 0999532072

## Carta de autorización

**Carta de autorización por parte de la autora para la consulta de reproducción parcial o total, y/o publicación electrónica del texto completo, Trabajo de Titulación.**

Yo, **Xiomara Anahí Cabrera Ordóñez**, declaro ser autora del Trabajo de Titulación denominado: **Diseño e implementación de un prototipo automatizado de silla de ruedas con propulsión eléctrica basada en tecnología de bajo coste**, como requisito para optar por el título de **Ingeniera en Electrónica y Telecomunicaciones**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los once días del mes de enero del dos mil veintitrés.

**Firma:**



**Autor:** Xiomara Anahí Cabrera Ordóñez

**Cédula:** 1150281796

**Dirección:** Loja – Barrio “La Tebaida Alta”; calles Argentina 531-09 y Bolivia

**Celular:** 0999532072

### **DATOS COMPLEMENTARIOS**

**Director del Trabajo de Titulación:** Ing. Christian Hernán Campoverde Ramírez, Mg. Sc.

## **Dedicatoria**

A mi amado y eterno abuelito, Guillermo Ángel Salvador Ordóñez Castillo, por estar siempre en los todos los momentos importantes de mi vida, por ser el ejemplo para salir adelante y por los consejos, enseñanzas y motivación que han sido de gran ayuda para mi vida y crecimiento.

De igual forma a mi mamá por formar parte de mi vida y mi formación personal, además de educarme con valores y dedicación.

Finalmente, dedico este Trabajo de Titulación a mis amigos y compañeros de largas noches de estudio, alegrándome durante este recorrido y a quienes les deseo los mayores éxitos en sus vidas.

*Xiomara Anahí Cabrera Ordóñez*

## **Agradecimiento**

Permítanme agradecer a Dios por darme ese espíritu lleno de perseverancia, dedicación y fortaleza para la culminación de mis estudios universitarios y sobre todo agradecerle por permitirme conocer y tener a mi lado un abuelito maravilloso que no dejó de apoyarme hasta su último respiro.

Quiero agradecer a mi querido abuelito ya que este trabajo de titulación es el resultado de lo que me has enseñado en la vida, ya que siempre has sido una persona honesta, entregado a cada uno de sus proyectos, y un gran líder, pero más que todo eso, una gran persona que siempre ha podido salir adelante y ser triunfador. Es por ello que hoy te doy las gracias. Gracias por confiar en mí y darme la oportunidad de culminar esta etapa de mi vida.

Quiero agradecer a mi mamá, por su fortaleza, y por el esfuerzo que ha hecho por mí.

De igual forma, quiero agradecer a mis amigos y compañeros de carrera, por su confianza, sus consejos, su ayuda y motivación.

Agradezco a la Universidad Nacional de Loja por ser la institución en la que he desarrollado mi formación académica superior, a la planta de docentes de la carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, por los conocimientos impartidos hacia mi persona, de forma especial a mi director del Trabajo de Titulación, el Ing. Christian Campoverde, por sus valiosos aportes y por brindar una orientación íntegra y adecuada al proyecto.

Gracias a todos aquellos que no están aquí, pero que me ayudaron y motivaron a que este gran logro se volviera realidad.

*Xiomara Anahí Cabrera Ordóñez*

## Índice de Contenidos

<b>Portada</b> .....	i
<b>Certificación</b> .....	ii
<b>Autoría</b> .....	iii
<b>Carta de autorización</b> .....	iv
<b>Dedicatoria</b> .....	v
<b>Agradecimiento</b> .....	vi
<b>Índice de Contenidos</b> .....	vii
Índice de Figuras .....	x
Índice de Tablas .....	x
Índice de Anexos.....	xii
<b>1. Título</b> .....	1
<b>2. Resumen</b> .....	2
2.1. Abstract .....	3
<b>3. Introducción</b> .....	4
<b>4. Marco Teórico</b> .....	6
4.1. Discapacidad .....	6
4.1.1. Evolución del concepto de discapacidad.....	6
4.1.2. Discapacidad en América Latina.....	7
4.1.3. Discapacidad en Ecuador .....	8
4.1.4. Definición de discapacidad .....	9
4.1.5. Tipos de discapacidad .....	10
4.1.5.1.Discapacidad Intelectual o mental. ....	10
4.1.5.2.Discapacidad Física.....	10
4.1.5.3.Discapacidad Sensorial.. ....	10
4.1.5.4.Discapacidad Psíquic. ....	10
4.2. Discapacidad física o motriz .....	11
4.2.1. Tipos de discapacidades físicas.....	11
4.3. Cumplimiento de los objetivos de la ODS'S .....	12
4.4. Tecnologías de apoyo para personas con discapacidad física.....	13
4.5. Sillas de Ruedas .....	14
4.5.1. Clasificación de sillas de ruedas.....	15
4.5.1.1.Manuales autopropulsables y plegables.. ....	15
4.5.1.2.Manuales no autopropulsables y no plegables.....	15

4.5.1.3.Sillas de ruedas eléctricas.....	16
4.6.  Sistemas microprocesados.....	16
4.6.1.  Arduino.....	17
4.6.2.  Tipos de Arduino.....	18
4.6.2.1.Arduino UNO.....	18
4.6.2.2.Arduino Leonardo.....	18
4.6.2.3.Arduino Zero.....	19
4.6.2.4.Arduino Mega 2560. ....	19
4.7.  Sistemas de Control.....	20
4.7.1.  Sistema de control de lazo abierto.....	20
4.7.2.  Sistema de control de lazo cerrado.....	20
4.8.  Sistema de mando.....	21
4.8.1.  Joystick.....	21
4.8.2.  Principio de operación.....	21
4.8.3.  Clasificación de las palancas de mando .....	21
4.8.3.1.Palancas de mando con micro interruptores.....	21
4.8.3.2.Palancas de mando rotatorias. ....	22
4.8.3.3.Palancas de mando de estado sólido. ....	22
4.8.3.4.Palancas de mando análogas. ....	22
4.9.  Motores Eléctricos.....	22
4.9.1.  Tipos de Motores Eléctricos.....	23
4.9.2.  Diferencias entre los motores de corriente CC y CA. ....	23
4.9.3.  Motores de corriente continua con escobillas .....	24
4.9.4.  Motores de corriente continua sin escobillas .....	24
4.9.4.1.Controlador .....	25
4.9.5.  Motor de corriente alterna síncrono .....	25
4.9.6.  Motor de corriente alterna asíncrono .....	25
4.10. Baterías.....	26
4.10.1. Tipos de Baterías.....	26
4.10.2. Principales parámetros .....	28
4.11. Comunicación Inalámbrica .....	28
4.11.1. Principales tipos de conexiones inalámbricas .....	28
4.11.2. Características principales de las tecnologías inalámbricas.....	30
4.11.3. Comunicación Bluetooth.....	31
4.11.4. Módulo Bluetooth .....	31



4.11.5.	Dispositivos móviles .....	32
4.11.6.	Teléfonos móviles .....	32
4.12.	RemoteXY .....	33
<b>5.</b>	<b>Metodología</b> .....	<b>34</b>
5.1.	Contexto .....	34
5.2.	Etapas o fases de diseño .....	34
5.3.	Recursos .....	35
5.3.1.	Recursos Científicos.....	36
5.3.2.	Recursos Técnicos.....	36
<b>6.</b>	<b>Resultados</b> .....	<b>37</b>
6.1.	Selección de componentes .....	37
6.1.1.	Silla de ruedas básica plegable.....	37
6.1.2.	Selección del motor.....	38
6.1.3.	Selección de batería.....	43
6.1.4.	Frenos .....	45
6.1.5.	Joystick.....	46
6.2.	Diseño e implementación del sistema de propulsión .....	47
6.2.1.	Diseño mecánico o estructural .....	47
6.2.2.	Construcción de la estructura .....	48
6.2.3.	Diseño del circuito de control del prototipo.....	52
6.2.4.	Software de aplicación .....	54
6.2.5.	Creación del PBC para el control y automatización .....	57
6.2.6.	Ensamblaje de los circuitos y dispositivos de control.....	59
6.2.7.	Diseño e impresión de estructuras.....	60
6.3.	Pruebas de desempeño y validación del sistema.....	63
6.3.1.	Validación del sistema .....	69
6.4.	Costos para la construcción del prototipo .....	71
6.4.1.	Comparación con las sillas de ruedas existentes en el mercado. ....	72
<b>7.</b>	<b>Discusión</b> .....	<b>76</b>
<b>8.</b>	<b>Conclusiones</b> .....	<b>77</b>
<b>9.</b>	<b>Recomendaciones</b> .....	<b>78</b>
<b>10.</b>	<b>Referencias Bibliográficas</b> .....	<b>79</b>
<b>11.</b>	<b>Anexos</b> .....	<b>82</b>

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1.</b> Prevalencia de la discapacidad.....	8
<b>Tabla 2.</b> Tipo de discapacidad .....	9
<b>Tabla 3.</b> Grado de discapacidad .....	9
<b>Tabla 4.</b> Grupos Etarios.....	9
<b>Tabla 5.</b> Diferencias principales de las placas Arduino.....	20
<b>Tabla 6.</b> Diferencias de los motores CC y CA.....	23
<b>Tabla 7.</b> Diferencias entre los motores con y sin escobillas .....	25
<b>Tabla 8.</b> Características principales de los tipos de batería .....	28
<b>Tabla 9.</b> Comparativa entre las diferentes versiones de la especificación Wi-Fi.....	29
<b>Tabla 10.</b> Características principales de las tecnologías inalámbricas.....	30
<b>Tabla 11.</b> Tipos de sillas de ruedas manuales.....	37
<b>Tabla 12.</b> Pendiente en el cantón de Loja.....	38
<b>Tabla 13.</b> Coeficiente de fricción.....	39
<b>Tabla 14.</b> Tabla comparativa de motores .....	42
<b>Tabla 15.</b> Características técnicas del motor seleccionado .....	43
<b>Tabla 16.</b> Tipos de Joysticks.....	46
<b>Tabla 17.</b> Tiempos al recorrer 12 m de distancia .....	67
<b>Tabla 18.</b> Velocidades de operación del prototipo según el peso del usuario.....	68
<b>Tabla 19.</b> Costos del Sistema mecánico y de control .....	72
<b>Tabla 20.</b> Comparación de silla de ruedas eléctricas existentes en el mercado.....	73
<b>Tabla 21.</b> Características del prototipo realizado. ....	75

## Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b> Discapacidad Física.....	11
<b>Figura 2.</b> Silla de Ruedas. ....	14
<b>Figura 3.</b> Silla de ruedas manual y plegable.....	15
<b>Figura 4.</b> Silla de ruedas manual y no plegable.....	16
<b>Figura 5.</b> Silla de ruedas eléctrica.....	16
<b>Figura 6.</b> Diagrama de bloques de un microcontrolador.....	17
<b>Figura 7.</b> Símbolo de Arduino .....	17
<b>Figura 8.</b> Arduino UNO .....	18
<b>Figura 9.</b> Arduino LEONARDO .....	18
<b>Figura 10.</b> Arduino ZERO.....	19
<b>Figura 11.</b> Arduino Mega 2560.....	19
<b>Figura 12.</b> Diagrama de bloques de control de lazo abierto .....	20
<b>Figura 13.</b> Diagrama de bloques de control de lazo cerrado. ....	21
<b>Figura 14.</b> Joystick analógico simple y estructura interna de un joystick común .....	21
<b>Figura 15.</b> Motor DC con escobillas .....	24
<b>Figura 16.</b> Motor DC sin escobillas (BLCD).....	24
<b>Figura 17.</b> Batería plomo-ácido .....	26
<b>Figura 18.</b> Batería Li-ion .....	26
<b>Figura 19.</b> Batería de Ni-Cd.....	27
<b>Figura 20.</b> Batería de Ni-MH .....	27
<b>Figura 21.</b> Características técnicas de las tecnologías inalámbricas .....	31
<b>Figura 22.</b> Módulo Bluetooth HC-06.....	32
<b>Figura 23.</b> Dispositivos móviles .....	32
<b>Figura 24.</b> Esquema de funcionamiento de RemoteXY.....	33
<b>Figura 25.</b> Silla de ruedas adquirida.....	38
<b>Figura 26.</b> Motores brushless de 36 V a 250W .....	43
<b>Figura 27.</b> Batería de ion-litio de 36V 10Ah.....	45
<b>Figura 28.</b> Sistema de frenos empleados.....	45

<b>Figura 29.</b> <i>Frenos manuales implementados en la silla de ruedas.</i> .....	45
<b>Figura 30.</b> <i>Joystick KY-023</i> .....	46
<b>Figura 31.</b> <i>Modelado 3D de la silla de ruedas original</i> .....	47
<b>Figura 32.</b> <i>Modelado 3D de la silla de ruedas modificada</i> .....	48
<b>Figura 33.</b> <i>Estructura adicional en 3D</i> .....	48
<b>Figura 34.</b> <i>Acople de estructura.</i> .....	49
<b>Figura 35.</b> <i>Piezas de referencia para el acople de los motores.</i> .....	49
<b>Figura 36.</b> <i>Moldes de las piezas para las bases de la estructura.</i> .....	50
<b>Figura 37.</b> <i>Piezas de agarre.</i> .....	50
<b>Figura 38.</b> <i>Bases completas.</i> .....	50
<b>Figura 39.</b> <i>Bases para colocar la batería y el sistema eléctrico-electrónico.</i> .....	51
<b>Figura 40.</b> <i>Rueda modificada.</i> .....	51
<b>Figura 41.</b> <i>Diagrama de bloques del sistema a implementar.</i> .....	52
<b>Figura 42.</b> <i>Esquemas de comprobación del movimiento del joystick</i> .....	53
<b>Figura 43.</b> <i>Simulación de operación del joystick.</i> .....	53
<b>Figura 44.</b> <i>Diagrama de flujo de la operación del joystick.</i> .....	54
<b>Figura 45.</b> <i>Elementos para la configuración.</i> .....	55
<b>Figura 46.</b> <i>Área de trabajo para la aplicación móvil.</i> .....	55
<b>Figura 47.</b> <i>Área de trabajo para la aplicación móvil.</i> .....	56
<b>Figura 48.</b> <i>Botón para acceder al código generado de la interfaz creada.</i> .....	56
<b>Figura 49.</b> <i>Extracto del código generado.</i> .....	57
<b>Figura 50.</b> <i>Interfaz gráfica realizada.</i> .....	57
<b>Figura 51.</b> <i>Diagrama en Proteus del circuito de control.</i> .....	58
<b>Figura 52.</b> <i>Diagrama PCB para el control con el joystick</i> .....	58
<b>Figura 53.</b> <i>Circuitos impresos</i> .....	58
<b>Figura 54.</b> <i>Placas finales</i> .....	59
<b>Figura 55.</b> <i>Ensamble de todos los componentes del sistema en protoboard</i> .....	59
<b>Figura 56.</b> <i>Ensamble de los componentes del sistema en la placa impresa</i> .....	60
<b>Figura 57.</b> <i>Ondas de salida verificadas en el osciloscopio</i> .....	60
<b>Figura 58.</b> <i>Ensamble de la batería</i> .....	61
<b>Figura 59.</b> <i>Resultado final del ensamble de la batería</i> .....	61
<b>Figura 60.</b> <i>Proceso de impresión de la caja de control</i> .....	61
<b>Figura 61.</b> <i>Ensamble y resultado final de la caja de control</i> .....	62
<b>Figura 62.</b> <i>Ubicación final de la caja de alimentación y de control.</i> .....	62
<b>Figura 63.</b> <i>Proceso de impresión de la caja y base del joystick.</i> .....	62
<b>Figura 64.</b> <i>Ensamble del joystick.</i> .....	63
<b>Figura 65.</b> <i>Ensamble del joystick en el prototipo final.</i> .....	63
<b>Figura 66.</b> <i>Prototipo final vista frontal.</i> .....	64
<b>Figura 67.</b> <i>Prototipo final vista posterior.</i> .....	64
<b>Figura 68.</b> <i>Prueba en cubierta de mortero mojado sujeto 1</i> .....	65
<b>Figura 69.</b> <i>Prueba en gravilla sujeto 2.</i> .....	65
<b>Figura 70.</b> <i>Prueba en cubierta de mortero seco sujeto 3.</i> .....	66
<b>Figura 71.</b> <i>Prueba en baldosa sujeto 4.</i> .....	66
<b>Figura 72.</b> <i>Prueba en calzada sujeto 5.</i> .....	66
<b>Figura 73.</b> <i>Transporte del prototipo final.</i> .....	69
<b>Figura 74.</b> <i>Pruebas en rampas para personas con discapacidad.</i> .....	69
<b>Figura 75.</b> <i>Validación con personas con discapacidad física.</i> .....	70
<b>Figura 76.</b> <i>Validación con niños</i> .....	70
<b>Figura 77.</b> <i>Validación del aplicativo móvil.</i> .....	71
<b>Figura 78.</b> <i>Validación con miembros del cuerpo de salud.</i> .....	71

## Índice de Anexos

<b>Anexo 1:</b> <i>Diseños 3D de cada elemento que compone el prototipo</i> .....	82
<b>Anexo 2:</b> <i>Manual de usuario de la silla de ruedas eléctrica</i> .....	87
<b>Anexo 3:</b> <i>Especificaciones técnicas de los componentes mecánicos y electrónicos</i> .....	106
<b>Anexo 4:</b> <i>Construcción de la estructura</i> .....	110
<b>Anexo 5:</b> <i>Análisis de los componentes</i> .....	113
<b>Anexo 6:</b> <i>Código del programa de operación</i> .....	116
<b>Anexo 7:</b> <i>Interfaz gráfica del aplicativo móvil</i> .....	119
<b>Anexo 8:</b> <i>Proceso de impresión de estructuras</i> .....	120
<b>Anexo 9:</b> <i>Proceso de ensamblaje de dispositivos y del sistema de control</i> .....	121
<b>Anexo 10:</b> <i>Prototipo final</i> .....	123
<b>Anexo 11:</b> <i>Pruebas de funcionamiento del prototipo</i> .....	124
<b>Anexo 12:</b> <i>Validación del prototipo</i> .....	128
<b>Anexo 13:</b> <i>Certificación de traducción</i> .....	133

## **1. Título**

**Diseño e implementación de un prototipo automatizado de silla de ruedas con propulsión eléctrica basada en tecnología de bajo coste.**

## 2. Resumen

La investigación, así como los avances tecnológicos, han ido evolucionando permitiendo mayor comodidad para el ser humano, uno de estos avances es la tendencia de automatización de procesos tradicionales. En el presente proyecto de investigación se detalla el diseño e implementación de un prototipo de silla de ruedas eléctrica de bajo coste, capaz de controlar los movimientos para facilitar el desplazamiento de forma independiente y cómoda de las personas con discapacidad física mejorando su autonomía personal, sus relaciones y elevando su calidad de vida, además de aportar al cumplimiento de cuatro de los diecisiete Objetivos de Desarrollo Sostenible.

A nivel general, el presente trabajo se realizó a partir de cinco fases donde consta el levantamiento de información, diseño, adquisición, implementación y evaluación; por lo que, los componentes del prototipo se guiaron referente al cumplimiento de las necesidades elementales para su funcionamiento. Por tal motivo, en primera instancia, se realizó las investigaciones correspondientes en base a las deficiencias físicas que afectan a las personas a nivel de los miembros inferiores, sus respectivas tecnologías de apoyo, enfocándonos particularmente en las sillas de ruedas tanto manuales como eléctricas. Posteriormente, se estableció los parámetros de operación de la silla de ruedas, los cuales nos permitieron dimensionar y seleccionar un sistema de propulsión eléctrica que consta de dos motores sin escobillas y de una batería de iones de litio. El sistema de control y automatización se basa en la programación de una tarjeta controladora Arduino que funciona como el cerebro del proceso y una palanca de mando que permite facilitar los movimientos del prototipo mediante un programa con base en los requerimientos de operación y demás características para su correcto control y manejo. De la misma forma, para el ensamble de todos los componentes de fuerza y control se diseñó y construyó una estructura en función de permitir un fácil montaje y mantenimiento, además de brindar flexibilidad, comodidad y seguridad al usuario.

Finalmente, una vez implementado los diferentes sistemas del prototipo se procede a la validación de las especificaciones planteadas de diseño y funcionamiento mediante pruebas de campo; de la misma manera, se realizó un análisis financiero para conocer los costos involucrados en la implementación del prototipo y verificar la reducción de costos con respecto a modelos existentes en el mercado.

**Palabras claves:** sistemas de control, motores eléctricos, discapacidad física, silla de ruedas.

## 2.1. Abstract

Research work and technological advances have been evolving, allowing greater comfort for human beings; one of these advances is the trend of automation of traditional processes. This research project details the design and implementation of a prototype of a low-cost electric wheelchair capable of controlling movements to facilitate the independent and comfortable movement of people with physical disabilities, improving their autonomy and their relationships and raising their quality of life, in addition to contributing to the fulfillment of four of the seventeen Sustainable Development Goals.

At a general level, we implemented this work in five phases, including information gathering, design, acquisition, implementation, and evaluation; therefore, we oriented the subcomponents of the prototype toward the deployment of the basic needs for its operation. For this reason, in the first instance, we conducted the corresponding research work based on the physical deficiencies affecting people at the level of their lower limbs and their respective assistive technologies, focusing specifically on both manual and electric wheelchairs. Subsequently, we established the operating parameters of the wheelchair, which allowed us to select and size an electric propulsion system consisting of two brushless motors and a lithium-ion battery. We based the control and automation system on the programming of an Arduino controller board that works as the brain of the process and a joystick that allows the movements of the prototype facilitated by employing a program based on the operation requirements and other characteristics for its correct control and management. In the same way, for the assembly of all the power and control components, we designed and built a structure to allow easy assembly and maintenance in addition to providing flexibility, comfort, and safety to the user.

Finally, once we implemented the different systems of the prototype, we proceeded to the validation of the design and operation specifications through field tests; in the same way, we made a financial analysis to know the costs involved in the implementation of the prototype and to verify the cost reduction concerning existing models in the market.

**Keywords:** control systems, electric motors, physical disabilities, wheel chair.

### 3. Introducción

Los seres humanos son propensos a padecer diferentes tipos de enfermedades, tales como parálisis cerebral, paraplejia, deficiencias articulares o en el aparato digestivo, amputaciones, en el sistema endocrino, etc.; las cuales pueden ser relacionadas por problemas genéticos o por accidentes, ocasionando que las personas que tengan algún problema físico, malformaciones, carencia de sus extremidades, etc. Antes del siglo XX este tipo de discapacidad no era muy conocido ya que los casos no eran muchos, pero a partir de ese siglo, la evolución tanto como de conocimiento y pensamiento de la sociedad conllevó a que se acepte a todas las personas que sufren de diferentes tipos de discapacidades, tratando así de acoplarlas de mejor manera a la sociedad, buscando campos en los que se puedan desenvolver y permitiéndoles acceder tanto a educación como a lugares de trabajo.

En Ecuador el total de personas con discapacidad inscritas en el registro nacional de discapacidad son de 471 205 las cuales padecen algún tipo de discapacidad sea esta auditiva, física, intelectual, psicosocial o visual. De acuerdo a la última elaboración de enero 2022, dentro de los datos que ofrece el CONADIS el 45,66 % de la población de Ecuador tienen discapacidad física, lo que equivale a 215 256 personas entre hombres, mujeres y LGBTI; y enfocándose en la provincia de Loja las personas con discapacidad física registradas son de 5 483 entre hombres y mujeres (CONADIS, 2022).

En nuestro país se está mejorando la cultura de compromiso ciudadano, no solo con el apoyo psicológico para las personas con discapacidad, sino que también con la implementación de mecanismos de accesibilidad tal como, las sillas de ruedas. No obstante, se debe tomar en cuenta que las sillas de ruedas que son adquiridas en su mayoría son de propulsión manual, por lo que las personas con discapacidad física dependen de terceras personas o de un esfuerzo físico mayor, una solución para resolver este problema son las sillas de ruedas eléctricas; sin embargo, dichas sillas de ruedas oscilan entre 1 800 a 10 000 dólares siendo inasequible para las personas con discapacidad física por su elevado costo; por lo cual, se busca con este proyecto dar solución al problema de movilidad o desplazamiento de las personas con discapacidad física a través de un prototipo económico y compuesto de materiales de fácil adquisición, para simplificar las labores de mantenimiento, reparación y adaptación; en otras palabras, la creación de una silla de ruedas eléctrica de bajo costo que le permita al usuario propulsarse de acuerdo a sus necesidades; es decir, le posibilite la movilidad de una manera segura, rápida y autónoma.



Por lo tanto, los beneficiarios de este estudio serán las personas que posean algún tipo de discapacidad física y de escasos recursos.

La metodología aplicada en el presente trabajo, permitió cumplir con los objetivos específicos planteados para esta investigación, que son los siguientes:

- Elaborar una revisión bibliográfica de los sistemas de control y propulsión eléctrica para establecer el mejor diseño que se utilizará en la silla de ruedas convencional.
- Determinar los elementos necesarios para diseñar el mecanismo que se va a implementar en la silla de ruedas eléctrica, teniendo en cuenta los diferentes prototipos de bajo costo existentes en el mercado.
- Construir el sistema de control seleccionado para la automatización de la silla de ruedas y posteriormente desarrollar una etapa de evaluación del mismo.

Para una recopilación efectiva de la información, el presente documento se divide en secciones. En la sección marco teórico se realiza una compilación de las bases en las que se fundamenta este trabajo de titulación, como son el concepto de discapacidad, las características y los tipos de la misma, los diferentes modelos de sillas de ruedas convencionales y los diferentes elementos electrónicos que ayudaran a su automatización. En la sección de Metodología se describe el procedimiento ejecutado; y, por último, las secciones de Resultados, Discusión, Conclusiones y Recomendaciones describen de forma detallada los resultados obtenidos en base al desarrollo del diseño y construcción del prototipo, las conclusiones del trabajo realizado y las recomendaciones del autor para futuras mejoras e implementaciones.

## 4. Marco Teórico

Para esta investigación se analiza el concepto de discapacidad, sus tipos más frecuentes y causas, de la misma forma se muestra una pequeña reseña histórica sobre las sillas de ruedas y su evolución; por último, se presentan los diferentes mecanismos y elementos que son fundamentales para el diseño del prototipo.

### 4.1. Discapacidad

#### 4.1.1. Evolución del concepto de discapacidad

Conforme ha ido evolucionando la humanidad, la concepción sobre las personas con discapacidad se ha ido reformando sustancialmente; no fue después de la Primera Guerra Mundial que se establecieron principios de rehabilitación, pero a finales de la Segunda Guerra Mundial se empezaron a desarrollar actividades tal como las conocemos en la actualidad; en dicha época el programa que inició el doctor Howard Rusk en un centro de convalecientes de guerra en Missouri, Estados Unidos, dio inicio a un movimiento panamericano guiado en la concepción funcional del tratamiento médico, donde su enfoque se asemeja a la explicación unicausal del fenómeno de la enfermedad (Torse de Almeida, 2017).

En 1974, la UNESCO planteo que el proceso de rehabilitación se desarrolla en cinco etapas, las cuales son:

1. Etapa filantrópica
2. Etapa de asistencia social
3. Etapa de los derechos fundamentales
4. Etapa de la igualdad de oportunidades
5. Etapa del derecho a la integración

Estas cinco etapas no son excluyentes y pueden coexistir en un mismo país en zonas diferentes.

La aparición de los trabajos de Wood, de la Universidad de Manchester, Inglaterra, dieron origen a la Clasificación Internacional de Deficiencias, Discapacidades y Minusvalías (CIDDM) de la Organización Mundial de la Salud (OMS), donde se enfatizó los distintos momentos de un proceso que puede alterar las funciones de la persona y la influencia que sobre ella ejerce el ámbito social. La CIDDM describe las consecuencias de la enfermedad en forma lineal y supone una progresión desde el daño a la salud hasta la deficiencia, discapacidad, minusvalía o desventaja. En el año 2001, la OMS publicó la Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud (CIF), la cual ofrece la descripción de todos

los componentes funcionales y la compleja interrelación entre los factores involucrados en la discapacidad.

Además, otro modelo de la discapacidad puede ser considerado el de la Clasificación Internacional de Deficiencias, Discapacidades y Minusvalías de la OMS (CIDDDM). De cierta manera es similar al anterior en relación con el desarrollo lineal de las situaciones, pero representa un avance porque considera un espectro mayor de necesidades de intervenciones, sobre todo en los aspectos funcionales. En este modelo su mayor crítica es el acento que pone en las experiencias personales, en contraposición al poco énfasis que se otorga al medio y el ambiente (Torse de Almeida, 2017).

#### ***4.1.2. Discapacidad en América Latina***

Alrededor de 85 millones de personas con discapacidad viven en América Latina y el Caribe, las cuales hasta hace poco no eran incluidas en las estadísticas políticas públicas en la mayoría de los países, sin embargo, en la última década los países de la región han ratificado unánimemente la Convención de las Naciones Unidas sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad y reestructurado sus marcos legales para fortalecer los derechos de las personas con discapacidad. La inclusión de las personas con discapacidad ha logrado un lugar cada vez más central en los debates de políticas públicas en materia de educación, trabajo, salud y participación política (Ejecutivo, 2021).

En relación a las cifras de personas con discapacidad que existen en la región se estima que de la población total de América Latina que remonta a 579.500.721, existe un porcentaje del 9.44% que son personas con algún tipo de discapacidad, de las cuales, el 51.63% son mujeres y el 48.37% son varones. (Valencia et al., 2019)

Los países que tienen una mayor cantidad con relación a la discapacidad son:

- Chile con un porcentaje del 16.14%,
- Brasil con un porcentaje del 14.05% y
- República Dominicana con un porcentaje del 12.29%

Además, la población con mayor prevalencia de discapacidad en la región se asienta en zonas urbanas en un porcentaje del 64.58%, mientras que en las zonas rurales es del 35.42%; así mismo, en la tabla 1 se puede observar el tipo de discapacidad que, por clasificación, tiene mayor prevalencia en los países antes mencionados (Valencia et al., 2019).

**Tabla 1.**  
*Prevalencia de la discapacidad.*

<b>País</b>	<b>Porcentaje</b>
Discapacidad Visual	29.98 %
Discapacidad Física	27.79%
Discapacidad Auditiva y del habla	18.11%
Discapacidad intelectual y psicosocial	15.28%
Otros tipos de discapacidad causados por enfermedades y afecciones	8.84%

**Adaptado de:** (Valencia et al., 2019)

#### **4.1.3. *Discapacidad en Ecuador***

Según INEC-Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, (2021) en el Ecuador, cuya población asciende a 17 511 000 de habitantes, la atención inicial a la persona con discapacidad fue bajo criterios de altruismo y beneficencia, para luego ir mejorando progresivamente a partir de los años 50, mediante las asociaciones de padres de familia, personas con discapacidad e instituciones privadas.

Una de las primeras acciones del estado orientada a la atención coordinada, técnica y normalizada fue la creación en 1973 del CONAREP, que se encargó de la formación ocupacional e inserción laboral de las personas con discapacidad. En 1982 a inicios de agosto se remite la Ley de Protección del Minusválido, que crea la Dirección Nacional de Rehabilitación Integral del Minusválido - DINARIM, sustituyendo al CONAREP y asignando al Ministerio de Bienestar Social la rectoría y coordinación con el resto de instituciones en todo lo relacionado con esa actividad. Esta Ley contiene varias disposiciones relacionadas con la prevención y la atención de las personas con discapacidad (CONADIS, 2017).

De acuerdo con el CONADIS el total de personas con discapacidad registradas en registro nacional de discapacidad son de 471 205 en todo el Ecuador. Lo cual se lo evidencia en las siguientes tablas:

**Tabla 2.***Tipo de discapacidad*

<b>TIPO DE DISCAPACIDAD</b>	<b>PORCENTAJE</b>
Física	45,66 %
Auditiva	14,12 %
Intelectual	23,12 %
Visual	11,54 %
Psicosocial	5,55 %

**Adaptado de:** CONADIS, 2022**Tabla 3.***Grado de discapacidad*

<b>GRADO DE DISCAPACIDAD</b>	<b>PORCENTAJE</b>
30% a 49%	45,71 %
50% a 74%	34,53 %
75% a 84%	13,91 %
85% a 100%	5,85 %

**Adaptado de:** CONADIS, 2022**Tabla 4.***Grupos Etarios*

<b>RANGO DE EDAD</b>	<b>PORCENTAJE</b>
De 0 a 3 años	0,39 %
De 4 a 6 años	1,05 %
De 7 a 12 años	4,48 %
De 13 a 18 años	6,98 %
De 19 a 24 años	7,81 %
De 25 a 35 años	13,44 %
De 36 a 64 años	40,72 %
De 65 años en adelante	25,12%

**Adaptado de:** CONADIS, 2022**4.1.4. Definición de discapacidad**

La definición de discapacidad ha evolucionado a través de la historia, por tal motivo; en 2001 la Organización Mundial de la Salud (OMS) establece una definición de discapacidad que supone un antes y un después; “La discapacidad es una condición del ser humano que, de

forma general, abarca las deficiencias, limitaciones y restricciones de actividades y participación de una persona”.

De acuerdo con OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud (2018) el concepto de personas con discapacidad incluye a quienes tienen deficiencias físicas, mentales, intelectuales o sensoriales a largo plazo que, en relación con diversas barreras, pueden obstaculizar su participación plena y efectiva en la sociedad en pie de igualdad con los demás.

Mientras que la CIF distingue entre deficiencia, discapacidad y minusvalía obteniendo así que la discapacidad se define como la *“restricción o falta de la capacidad para realizar una actividad en la forma o dentro del margen que se consideran normales para un ser humano. Engloba las limitaciones funcionales o las restricciones para realizar una actividad que resultan de una deficiencia”*. Las discapacidades son trastornos definidos en función de cómo afectan la vida de una persona (Organización Mundial de la Salud, 2001).

#### **4.1.5. Tipos de discapacidad**

**4.1.5.1. Discapacidad Intelectual o mental.** Al de finir a la discapacidad mental no se lo suele hacer como una enfermedad, más bien se la considera como las limitaciones sustanciales en el funcionamiento intelectual. Se caracteriza principalmente por limitaciones tanto de la inteligencia como en habilidades de adaptación social, básicamente es una condición innata del sujeto. Entre las más comunes dentro de este grupo está el Síndrome de Down (Organización Mundial de la Salud, 2001).

**4.1.5.2. Discapacidad Física.** A la discapacidad física se la puede considerar como una desventaja, resultante de un impedimento que limita el desempeño motor o físico de la persona afectada, donde las partes perjudicadas son sus extremidades superiores y/o inferiores. La discapacidad física se ve relativamente relacionada con problemas durante la gestación, dificultades en el momento del parto, además de otras causas como por ejemplo por una lesión medular que puede ser producidas por accidentes; otra causa de esta discapacidad también se puede dar por problemas en el organismo, tal es el caso de una persona que haya sufrido de un derrame (Organización Mundial de la Salud, 2001).

**4.1.5.3. Discapacidad Sensorial.** Este tipo de discapacidad se la relaciona a aquellas personas que tienen deficiencias visuales, auditivas e incluso a las que presentan problemas en su comunicación y lenguaje (Organización Mundial de la Salud, 2001).

**4.1.5.4. Discapacidad Psíquica.** La discapacidad psíquica corresponde a las personas que presentan una alteración de los procesos cognitivos y afectivos del desarrollo que se

traduce en trastornos del comportamiento, del razonamiento, de la adaptación a las condiciones de vida y de la comprensión de la realidad (Organización Mundial de la Salud, 2001).

## 4.2. Discapacidad física o motriz

La discapacidad física es aquel estado en que se da una circunstancia en la que impide o dificulta en gran medida a la persona que la padece pueda desplazarse con libertad y de un modo en el que tenga completa funcionalidad. Este tipo de discapacidad afecta al aparato locomotor, siendo especialmente visible en el caso de las extremidades si bien puede afectar de manera (Oscar, 2017).

**Figura 1.**  
*Discapacidad Física*



**Adaptado de:** Discapacidad física - Puntodis, 2016

### 4.2.1. Tipos de discapacidades físicas

La incapacidad de usar eficientemente las piernas, los brazos o el tronco debido al dolor, parálisis, rigidez u otras deficiencias es común; esto podría deberse a defectos congénitos, enfermedades, envejecimiento o accidentes, dichas deficiencias físicas se pueden dividir de la siguiente manera:

#### a) Afección a miembros superiores o inferiores

- **Amputaciones:** es la pérdida de una extremidad a causa de una lesión traumática como un corte, quemaduras o alguna enfermedad que requiera intervención quirúrgica tales como cáncer, diabetes, entre otras (Vásquez, 2017).
- **Poliomielitis:** se trata de una enfermedad de consecuencia viral en la que afecta el sistema nervioso produciendo una pérdida del control muscular que puede desencadenar en una parálisis (Muñoz & Idrovo, 2018).

#### b) Afección a la médula espinal

- **Lesión medular:** cuando ocurre esta afección todos los nervios que se sitúan por encima de la lesión funcionan correctamente, mientras que, por debajo se

produce una desconexión entre el cerebro y las diferentes partes del cuerpo; dependiendo del lugar y el grado de afección esta desconexión puede ser total o parcial (Muñoz & Idrovo, 2018).

- **Espina Bífida:** se trata de una serie de malformaciones congénitas que se presentan por una falta de cierre de uno o varios arcos vertebrales posteriores que en consecuencia forman un cierre anormal del tubo neural (Muñoz & Idrovo, 2018).

#### c) Enfermedades degenerativas

- **Ataxia de Friedreich:** es una enfermedad hereditaria la cual ocasiona un daño progresivo del sistema nervioso con síntomas que van entre la debilidad muscular y problemas de dicción ocasionando dificultad para caminar y se va propagando progresivamente a los brazos y tronco (Vásquez, 2017).
- **Esclerosis múltiple:** consiste en que el sistema nervioso central se destruye o deteriora la mielina perdiendo los nervios la capacidad de conducir impulsos eléctricos (Vásquez, 2017).
- **Distrofia muscular progresiva:** es el conjunto de enfermedades, caracterizadas por una debilidad progresiva y un deterioro de los músculos esqueléticos o voluntarios que son los que se encargan del movimiento (Vásquez, 2017).

#### d) Lesión cerebral

- **Parálisis cerebral:** consiste en una anomalía de tipo neuromotor que se produce por un desarrollo defectuoso del cerebro. La lesión cerebral puede tener espacio antes, durante o después del parto. Además, cabe recalcar que en la mayoría de los casos de parálisis cerebral se debe a una anoxia cerebral, aunque también puede producirse por otras causas como infecciones, accidentes cerebrovasculares o por traumatismos craneoencefálicos (Vásquez, 2017).

### 4.3. Cumplimiento de los objetivos de la ODS'S

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), también conocidos como Objetivos Globales, fueron adoptados por las Naciones Unidas en 2015 como un llamamiento universal para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que para el 2030 todas las personas disfruten de paz y prosperidad (PNUD, 2022).

De los 17 ODS que conforman este programa, cuatro de ellos son aplicados en el desarrollo de este trabajo:



- **Objetivo 3. Salud y Bienestar:** Para un desarrollo sostenible se debe tener una buena salud. de acuerdo a este ODS se quiere lograr terminar con la pobreza y reducir las desigualdades; además los enfoques multisectoriales, basados en los derechos y con perspectiva de género, son necesarios para afrontar las desigualdades y garantizar una buena salud para todas las personas.
- **Objetivo 9. Industria, Innovación e Infraestructura:** Los principales motores para el crecimiento y el desarrollo económico son la inversión en infraestructura y la innovación. Con la mayor parte de la población habitando en las ciudades la energía renovable es cada vez más importante, así como también el crecimiento de nuevas industrias y de las tecnologías de la información y las comunicaciones. Los avances tecnológicos también fundamentales para hallar soluciones a largo plazo o permanentes a los retos ambientales como económicos, al igual de la promoción de la eficiencia energética. Para reducir esta brecha digital es clave para garantizar el acceso igualitario a la información y el conocimiento, e impulsar la innovación y el emprendimiento.
- **Objetivo 10. Reducción de las Desigualdades:** La desigualdad de ingresos ha aumentado a lo largo de los años, para frenar esto es necesario adoptar políticas sólidas que incluyan a las personas de bajos recursos económicos y promuevan la inclusión económica de todos y todas, independientemente de su género, raza o etnia.
- **Objetivo 11. Ciudades y Comunidades Sostenibles:** Para regenerar la seguridad y la sostenibilidad de las ciudades implica asegurar el acceso a viviendas seguras y asequibles y el mejoramiento de los asentamientos marginales. Además, hacer inversiones en transporte público, establecer áreas públicas verdes, enriquecer la planificación y gestión urbana de manera que sea participativa e inclusiva.

#### **4.4. Tecnologías de apoyo para personas con discapacidad física.**

La tecnología de asistencia (TA) es el grupo de dispositivos o equipos que se pueden emplear para ayudar a que las personas con alguna discapacidad participen plenamente en las actividades de la vida cotidiana. La TA puede apoyar a mejorar la independencia funcional y ayudar a las tareas cotidianas mediante el uso de dispositivos que facilitan a una persona a trasladarse, viajar, comunicarse, aprender, trabajar, socializar y participar en actividades tanto

recreativas como sociales (Centro Nacional de Defectos Congénitos y Discapacidades del Desarrollo de los CDC, 2020).

Las herramientas para la movilidad le ayudan a caminar o moverse de un lugar a otro si está discapacitado o tiene una lesión, estos incluyen:

- Muletas
- Bastones
- Caminantes
- Sillas de ruedas
- Patinetes motorizados

Es probable que requiera un andador o un bastón si corre el riesgo de caerse. Si necesita mantener el peso de su cuerpo alejado del pie, el tobillo o la rodilla, es posible que necesite muletas. Es posible que necesite una silla de ruedas o un scooter si una lesión o enfermedad le ha impedido caminar (Aids, 2021).

#### **4.5. Sillas de Ruedas**

Las sillas de ruedas forman parte de las tecnologías de apoyo, ya que son dispositivos físicos que posibilitan o mejoran la realización de actividades del aparato locomotor mermadas por deficiencias, discapacidades o minusvalías de tipo parcial o total. Las sillas de ruedas son adaptadas con al menos tres ruedas, el dispositivo viene en variaciones que permiten la propulsión manual por el ocupante sentado girando las ruedas traseras a mano, o la propulsión eléctrica por motores (Muñoz & Idrovo, 2018).

**Figura 2.**  
*Silla de Ruedas.*



Adaptado de: Muñoz & Idrovo, 2018

### **4.5.1. Clasificación de sillas de ruedas**

**4.5.1.1. Manuales autopropulsables y plegables.** Son sillas de ruedas con chasis de acero cromado, casi siempre en un solo color; son plegables, ya que incorporan barras de cruceta y un asiento y un respaldo flexible de material impermeable e ignífugo; además incorporan reposabrazos y reposapiés, que pueden ser abatibles y desmontables. Esta silla se impulsa por el propio usuario manualmente, a través de aros de autopropulsión que están incorporados en las ruedas traseras. El peso total de estas sillas suele variar entre los 15-30 kg, dependiendo de los materiales con los que se produjo y los accesorios que se pueda integrar. Están son adecuadas para personas con imposibilidad para caminar, pero con la suficiente movilidad articular de los miembros superiores, y que no presenten otras discapacidades asociadas que impidan la autopropulsión de la silla (Garcés, 2021).

#### **Figura 3.**

*Silla de ruedas manual y plegable*



**Adaptado de:** Garcés, 2021

**4.5.1.2. Manuales no autopropulsables y no plegables.** Son aquellas sillas de ruedas manuales controladas por un asistente. Disponen de un chasis rígido, reposapiés y reposabrazos abatibles y desmontables. El asiento y el respaldar son acolchados y de material impermeable, y se pueden adaptar a las características antropomórficas de los pacientes. Se compone de un sistema de frenos y generalmente de cuatro ruedas inferiores a 300 mm de diámetro, aunque a veces las dos traseras pueden ser de mayor tamaño. En general, suelen ser macizas o de poliuretano, y algunas veces son neumáticas (Garcés, 2021).

**Figura 4.**

*Silla de ruedas manual y no plegable.*



**Adaptado de:** Garcés, 2021

**4.5.1.3. Sillas de ruedas eléctricas.** Las sillas de ruedas eléctricas son ideales para proporcionar autonomía y libertad de movimiento al usuario, este tipo de sillas son aptas para cualquiera que no posea la fuerza para utilizar una silla manual, además de que se adaptan a las necesidades de los usuarios. Se las controla mediante un joystick que impulsa los motores eléctricos que son alimentados por baterías. Existen varias opciones para manejar la dirección y velocidad de las sillas de ruedas eléctricas (Bryan Veloz & Edison Quinatoa, 2019).

**Figura 5.**

*Silla de ruedas eléctrica.*



**Adaptado de:** AIGAJE & VIZUETE, 2019

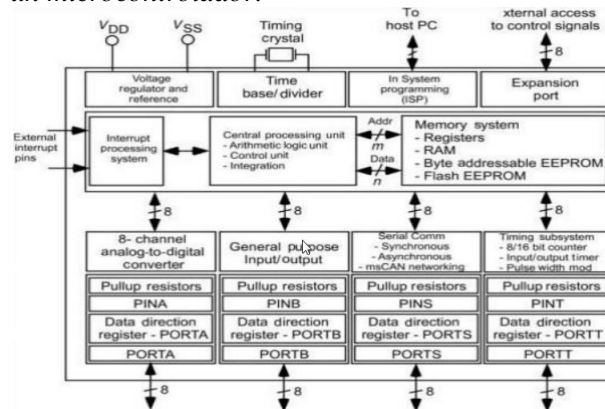
#### **4.6. Sistemas microprocesados**

Dentro de los sistemas microprocesados tenemos al microcontrolador, que no es más que un circuito integrado digital que puede ser usado para diversos propósitos, algunos de ellas son: el manejo de sensores, controladores, juegos, calculadoras, agendas, cerrojos electrónicos, control de motores, relojes, alarmas, robots, entre otros. Se compone por una unidad central de proceso (CPU), memorias (ROM y RAM) y líneas de entrada y salida. Un microcontrolador

puede usarse en sistemas automáticos, electrodomésticos, dispositivos médicos e informáticos, herramientas eléctricas, sistemas de control, etc. (Garcés, 2021).

**Figura 6.**

*Diagrama de bloques de un microcontrolador.*



**Adaptado de:** Garcés, 2021

Los fabricantes de microcontroladores, como Atmel y Microchip, brindan familias de microcontroladores de propósitos generales; dentro de estos tipos de dispositivos a menudo existen diversas configuraciones disponibles, tales como tamaños de palabra de 8, 16 y de 32 bits. De igual manera, los dispositivos de propósito general vienen en diferentes configuraciones de memoria y periféricos. Es importante saber que no solo hay un tipo de microcontrolador, sino que existen varios, entre los cuales encontramos Arduino.

#### 4.6.1. *Arduino*

Arduino es una plataforma electrónica de código abierto fundamentada en hardware y software de fácil uso, las placas Arduino pueden leer entradas y convertirlo en una salida; es decir, se le puede formular a la placa qué hacer enviando un conjunto de instrucciones al microcontrolador en la placa, para ello se emplea el lenguaje de programación Arduino y el Software Arduino (IDE), basado en Processing (Arduino.cc, 2021b).

**Figura 7.**

*Símbolo de Arduino*



**Adaptado de:** Arduino.cc, 2021b

#### 4.6.2. Tipos de Arduino

Las diferentes placas Arduino difieren en su tamaño, conectividad, cuántas entradas/salidas disponen y sus especificaciones a nivel de hardware, como por ejemplo la memoria interna.

**4.6.2.1. Arduino UNO.** Arduino Uno es una placa de microcontrolador basada en ATmega328P. Tiene 14 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 6 se pueden usar como salidas PWM), 6 entradas analógicas, un resonador cerámico de 16 MHz una conexión USB, un conector de alimentación, un encabezado ICSP y un botón de reinicio.

**Figura 8.**  
*Arduino UNO*



Adaptado de: Arduino.cc, 2021b

**4.6.2.2. Arduino Leonardo.** El Arduino Leonardo es una placa de microcontrolador basada en el ATmega32u4. Tiene 20 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 7 se pueden usar como salidas PWM y 12 como entradas analógicas), un oscilador de cristal de 16 MHz, una conexión micro USB, un conector de alimentación, un encabezado ICSP y un botón de reinicio.

**Figura 9.**  
*Arduino LEONARDO*



Adaptado de: Arduino.cc, 2021b

**4.6.2.3. Arduino Zero.** El Zero es una extensión simple y poderosa de 32 bits de la plataforma establecida por la ONU. La placa Zero expande a la familia al proporcionar un mayor rendimiento, permitiendo una variedad de oportunidades de proyectos para dispositivos, y actúa como una gran herramienta educativa para aprender sobre el desarrollo de aplicaciones de 32 bit.

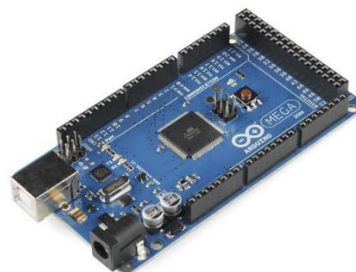
**Figura 10.**  
*Arduino ZERO*



**Adaptado de:** Arduino.cc, 2021b

**4.6.2.4. Arduino Mega 2560.** El Arduino Mega 2560 es una placa de microcontrolador basada en el ATmega2560, cuenta con 54 pines de entrada/salida digital de las cuales 16 son entradas analógicas, 4 UART, un oscilador de cristal de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un cabezal ICSP y, por último, un botón de reinicio. Este modelo comprende todo lo necesario para soportar el microcontrolador; simplemente conéctelo a una computadora con un cable USB o enciéndalo con un adaptador de CA a CC o una batería para comenzar (Arduino.cc, 2021a).

**Figura 11.**  
*Arduino Mega 2560*



**Adaptado de:** Arduino Mega 2560, 2018

En la siguiente tabla se encontrarán las principales diferencias entre unas placas y otras en cuanto a especificaciones.

**Tabla 5.**  
*Diferencias principales de las placas Arduino*

Nombre	Procesador	Velocidad CPU	E/S Analógicas	E/S Digitales	SRAM (KB)	FLASH (KB)	Precio
Uno	ATmega328P	16MHz	6/0	14/6	2	32	\$15.00
Leonardo	ATmega32U4	16MHz	12/0	20/7	2.5	32	\$24.95
Arduino Zero	ATSAMD21G18	48 MHz	6/1	14/10	32	2562	\$47.40
Mega 2560	ATmega2560	16 MHz	16/0	16/0	8	256	\$25.00

Adaptado de: Arduino.cc, 2021b

#### 4.7. Sistemas de Control

Un sistema de control se lo define como un sistema que se compone de elementos eléctricos, mecánicos, electrónicos, electromecánicos, etc.; que tienen como función la de contralar la actividad de una máquina o de un procedimiento.

##### 4.7.1. Sistema de control de lazo abierto

En este sistema la señal de control es independiente de la salida del procedimiento, por lo que no habrá retroalimentación entre las respectivas variables y no se cambiará la señal de control en función de la salida; este tipo de sistema se lo usa por lo general con actuadores para lograr el estado deseado dependiendo del medio(Anlas, 2017).

**Figura 12.**  
*Diagrama de bloques de control de lazo abierto*



Adaptado de: Anlas, 2017

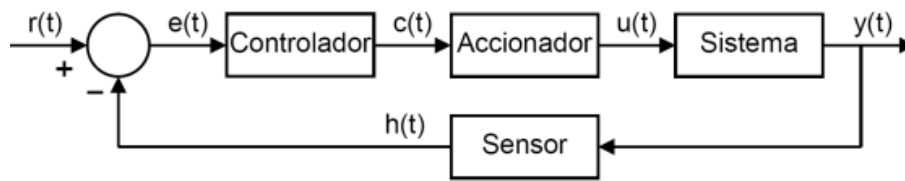
##### 4.7.2. Sistema de control de lazo cerrado

En lazo cerrado la señal de control será dependiente de la señal de salida por medio de una retroalimentación que es proporcionada por un sensor, es decir, la señal de control va a depender del error entre la entrada de referencia con el valor de la salida. Estos sistemas son utilizados cuando el proceso es difícil de configurar manualmente o se busca más precisión en su manejo (Anlas, 2017).



**Figura 13.**

*Diagrama de bloques de control de lazo cerrado.*



Adaptado de: Anlas, 2017

## 4.8. Sistema de mando

### 4.8.1. Joystick

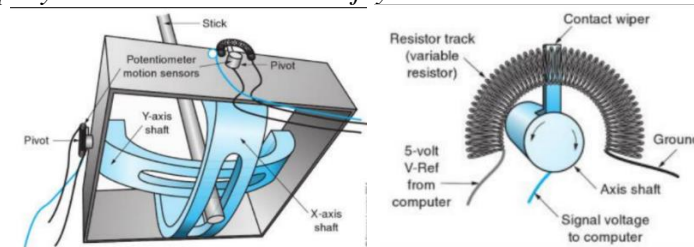
Es un dispositivo de control de dos o tres ejes que en la actualidad se lo conoce como una herramienta de entrada de datos que se usa desde una computadora que funciona en dos planos verticales, en el ámbito de la electrónica se considera la posición del mango y a través de un software se transmiten los datos de las tres coordenadas. Un joystick consta de más partes que incrementan su funcionalidad tales como interruptores, botones, etc., y se lo emplea en robots, palancas de juego, sillas de ruedas, entre otras (Garcés, 2021).

### 4.8.2. Principio de operación

Se fundamenta en la relación usuario – máquina del joystick que es el mango, el mismo que esta enlazado sobre una bola fija el cual permite movimientos lineales y axiales; dicho mango puede estar dotado con dispositivos de conmutación que mejoran la capacidad de control y gestión del sistema (Olivo Arroyo & Gallegos Díaz, 2018).

**Figura 14.**

*Joystick analógico simple y estructura interna de un joystick común*



Adaptado de: (Olivo Arroyo & Gallegos Díaz, 2018)

### 4.8.3. Clasificación de las palancas de mando

**4.8.3.1. Palancas de mando con micro interruptores.** Estas palancas constan de pequeños interruptores que mueven la palanca en un número de direcciones fijas; son bastante

exactas y fáciles de controlar, haciéndolas ideales para los juegos del combate y del rompecabezas (Vásquez, 2017).

**4.8.3.2. Palancas de mando rotatorias.** Estas palancas tienen palancas giratorias que permiten que los elementos hagan frente a hasta 12 diversas direcciones de un punto fijo, por lo general ofrecen diversos ajustes del movimiento, que incluyen configuraciones de dos vías, de cuatro terminales, y de la ocho-manera (Vásquez, 2017).

**4.8.3.3. Palancas de mando de estado sólido.** Utilizan sensores de estado sólido en vez de los interruptores, permitiendo un movimiento mucho más reservado del juego y del pulidor; son más costosos que las palancas de mando universales, pero son más durables y requieren menos mantenimiento (Vásquez, 2017).

**4.8.3.4. Palancas de mando análogas.** Las palancas de mando análogas tienen un sistema de botones a lo largo de la palanca que permite una gran gama de movimientos además de las dos posiciones por defecto, que las hace ideales para los juegos 3d (Vásquez, 2017).

## 4.9. Motores Eléctricos

Los motores eléctricos son máquinas que tienen la capacidad de transformar en energía mecánica la energía eléctrica que es absorbida por sus bornes. Algunos motores eléctricos son reversibles, es decir, pueden transformar energía mecánica en eléctrica funcionando como generadores, además de que pueden funcionar conectados a una red de suministro eléctrico o a baterías.

Los motores eléctricos cuentan con ciertos componentes principales:

- **Estator:** es uno de los elementos fundamentales para transmitir la potencia en el caso de los motores eléctricos, o la corriente alterna en el caso de los generadores eléctricos.
- **Rotor:** se trata de la parte que gira dentro de una máquina eléctrica, consiste en un eje que soporta un juego de bobinas enrolladas sobre piezas polares estáticas.
- **Conmutador:** es una especie de interruptor que se encuentra en algunos generadores y motores; cuya función es cambiar periódicamente la dirección de la corriente entre el rotor y el circuito externo.
- **Escobillas:** para establecer una conexión fija entre la máquina con las bobinas del rotor se fijan dos anillos en el eje de giro, aislados de la electricidad del eje y conectados a la bobina rotatoria, a sus terminales. Después, se encuentran unos

bloques de carbón o escobillas que realizan presión a través de unos resortes, para establecer el contacto eléctrico.

#### 4.9.1. Tipos de Motores Eléctricos.

Los motores eléctricos tienen tres clasificaciones, que son los motores universales, los motores de corriente continua y los de corriente alterna, de los cuales de los dos últimos se detalla estas a su vez tienen divisiones que detallaremos a continuación:

- **Motores universales.** Pueden funcionar con corriente continua o con corriente alterna, y son ampliamente utilizados tanto a nivel profesional o industrial, como a nivel doméstico para dotar de potencia a diversos electrodomésticos cotidianos.
- **Motores de corriente continua.** Este tipo de motor convierte la energía eléctrica en mecánica por medio de un movimiento rotatorio, dicho movimiento es generado como consecuencia del campo magnético. Tienen un diseño bastante complicado y permiten modificar la velocidad simplemente ajustando la tensión. Son más caros de fabricar y sus aplicaciones todavía son limitadas.
- **Motores de corriente alterna.** Están diseñados para funcionar a velocidades fijas. Son sencillos, baratos y muy usados tanto a nivel industrial como doméstico.

#### 4.9.2. Diferencias entre los motores de corriente CC y CA.

Los motores de corriente continua y los de corriente alterna se fundamentan en el mismo principio, el cual establece que, si un conductor por el que circula una corriente eléctrica se encuentra dentro de la acción de un campo magnético, éste tiende a desplazarse perpendicularmente a las líneas de acción del campo magnético. No obstante, se pueden destacar algunas diferencias, tal y como se observa en la Tabla 6 (Vásquez, 2017).

**Tabla 6.**  
*Diferencias de los motores CC y CA.*

<b>Motores de corriente continua</b>	<b>Motores de corriente alterna</b>
Trabaja a partir de la aplicación de corriente alterna.	Es necesario aplicar corriente continua en el inductor (armadura y campo).
Para regular su velocidad de giro se hace a través de variadores electrónicos de frecuencia.	La velocidad aumenta con el aumento de la tensión DC aplicada a la armadura.
Partes básicas: estator y rotor.	Partes básicas: inductor, inducido y colector.
Más baratos de fabricar.	Más caros de fabricación y mantenimiento.
Pueden ser monofásicos o trifásicos.	Son motores DC

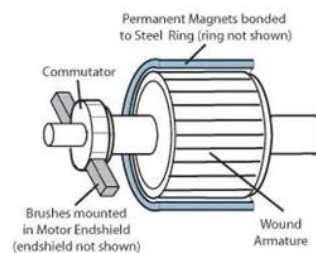
**Adaptado de:** MOTOREX, 2020

#### 4.9.3. Motores de corriente continua con escobillas

Como indica su nombre, utilizan escobillas conectadas a un colector para realizar el cambio de polaridad en el rotor. Estas escobillas son, por tanto, las encargadas de conmutar mecánicamente la corriente de las bobinas del motor. Para ir más allá de los 180 grados iniciales, los polos del electroimán deben girar. Las escobillas de carbón entran en contacto con el estator cuando el rotor gira, invirtiendo el campo magnético y permitiendo que el rotor gire 360 grados (Chris McGrady, 2017).

**Figura 15.**

*Motor DC con escobillas*



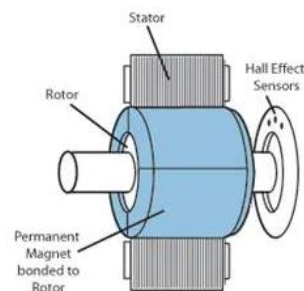
**Adaptado de:** Chris McGrady, 2017

#### 4.9.4. Motores de corriente continua sin escobillas

Los motores sin escobillas también conocidos como brushless o BLDC no incorporan colector ni escobillas para cambiar la polaridad en el rotor; en cambio, la conmutación de las bobinas se realiza electrónicamente a través de un controlador de motor. Esta propiedad elimina el gran problema que poseen los motores eléctricos con escobillas, los cuales producen rozamiento, disminuyen el rendimiento, son ruidosos y requieren una sustitución periódica, y, por lo tanto, mayor mantenimiento (Villanueva Dávila, 2018).

**Figura 16.**

*Motor DC sin escobillas (BLCD)*



**Adaptado de:** Chris McGrady, 2017

**4.9.4.1. Controlador:** Es un circuito electrónico que cambia la velocidad de un motor RC eléctrico, ruta y también funcionando como freno dinámico. Estos se usan con frecuencia en modelos controlados por radio que funcionan con baterías, más frecuentemente utilizado en motores brushless (Villanueva Dávila, 2018).

**Tabla 7.**  
*Diferencias entre los motores con y sin escobillas*

	<b>Motor sin escobillas</b>	<b>Motores con escobillas</b>
<b>Conmutación</b>	Conmutación electrónica basada en sensores de posición de efecto hall	Conmutación por escobillas
<b>Mantenimiento</b>	Mínimo	Periódico
<b>Durabilidad</b>	Mayor	Menor
<b>Eficiencia</b>	Alta. Sin caída de tensión	Moderada
<b>Rango de velocidad</b>	Alto. Sin limitaciones mecánicas impuestas por escobillas/conmutador	Bajo. El límite lo imponen principalmente las escobillas.
<b>Ruido eléctrico generado</b>	Bajo	Alto, arcos en las escobillas
<b>Coste de construcción</b>	Alto, debido a los imanes permanentes	Bajo
<b>Control</b>	Complejo y caro	Simple y barato

Adaptado de: Chris McGrady, 2017

#### **4.9.5. Motor de corriente alterna síncrono**

Es un dispositivo que tiene una velocidad de giro permanente y depende de la frecuencia de la tensión de la red eléctrica a la que está conectado, así como del número de pares de polos del motor. Estos tipos de motores de corriente alterna contemplan tres fases para su arranque. Estos equipos son usados en máquinas grandes que ameritan una carga variable con una velocidad constante (MCB, 2022).

#### **4.9.6. Motor de corriente alterna asíncrono**

Es un motor trifásico compuesto por dos tipos de rotor: de jaula ardilla y de bobinado. El ejercicio recíproco del campo giratorio y las corrientes existentes en los conductores del rotor, inician una fuerza electrodinámica sobre dichos conductores del rotor, las cuales permiten el giro del rotor del motor. Entre la velocidad y el rotor se presenta una diferencia que se conoce como deslizamiento. Su aplicación es adecuada para cargas que requieren un par de arranque alto y donde se necesita una energía de arranque más baja, así como cargas que requieren una acumulación gradual de par (MCB, 2022).

## 4.10. Baterías

Las baterías son dispositivos electroquímicos los cuales almacenan energía en forma química, es decir, cuando se conecta a un circuito eléctrico esta energía química se transforma en eléctrica. Todas las baterías son semejantes en su fabricación y están conformadas por un número de celdas electroquímicas, dichas celdas están compuestas de un electrodo positivo y negativo además de un separador; donde los electrones son transportados entre el electrodo positivo y negativo vía un circuito externo los cuales pueden ser: bombillas, motores de arranque, entre otros (Olivo Arroyo & Gallegos Díaz, 2018).

### 4.10.1. Tipos de Baterías

**4.10.1.1. Batería de plomo-ácido:** Es el tipo de batería más utilizada y, al mismo tiempo, la más antigua de todas, permaneciendo casi inalterada desde su invención en el Siglo XIX. Su bajo coste las hace ideales para las funciones de arranque, iluminación o soporte eléctrico, siendo utilizadas como acumuladores en vehículos de pequeño tamaño. Sus desventajas son el excesivo peso, la toxicidad del plomo y su lenta recarga (Carlos Solé, 2022).

**Figura 17.**  
*Batería plomo-ácido*



Adaptado de: Carlos Solé, 2022

**4.10.1.2. Batería de ion de litio:** La batería de iones de litio, también denominada batería Li-Ion, es un dispositivo diseñado para almacenamiento de energía eléctrica que emplea como electrolito una sal de litio que consigue los iones necesarios para la reacción electroquímica reversible que tiene lugar entre el cátodo y el ánodo (Villanueva Dávila, 2018).

**Figura 18.**  
*Batería Li-ion*



Adaptado de: Villanueva Dávila, 2018

**4.10.1.3. Níquel:** Son las más habituales, suministran tensiones de 1.2 V, se componen de cadmio que es un metal pesado que es contaminante para el medio ambiente, superficialmente tienen la misma forma y tamaño que las pilas comunes y en su interior están formados por dos electrodos el cadmio y el hidróxido de níquel que están separados por un electrolito de hidróxido de potasa (Villanueva Dávila, 2018).

**Figura 19.**  
*Batería de Ni-Cd*



**Adaptado de:** Villanueva Dávila, 2018

**4.10.1.4. Níquel-Hidruro Metálico:** Estas baterías brindan una mejora del 40% de capacidad suplementaria respecto a las baterías de Níquel de un volumen equivalente. Estas baterías son más ligeras y no están sujetas al efecto memoria, además tienen una vida media de unos 600 a 700 ciclos de carga que normalmente son utilizadas en portátiles y teléfonos móviles (Muñoz & Idrovo, 2018).

**Figura 20.**  
*Batería de Ni-MH*



**Adaptado de:** Muñoz & Idrovo, 2018

**4.10.1.5. Baterías de alcohol:** Los investigadores de Motorola han construido y presentado un prototipo de una micro batería apta a producir energía a partir del metanol o alcohol, su funcionamiento consiste en la mezcla del oxígeno y metanol dentro de un envoltorio cerámico que genera energía a la temperatura ambiente; tiene como objetivo de ser más pequeña y barata y con una autonomía superior a las de Litio (Armando Donado, 2021).

#### 4.10.2. Principales parámetros

- a. **Densidad energética:** Es la energía que puede suministrar la batería por cada kg. Cuanto mayor sea, más autonomía tendrá el vehículo o menor será el peso de este.
- b. **Potencia:** Es la capacidad de proporcionar potencia (amperaje máximo) en el proceso de descarga. A más potencia mejores prestaciones para el vehículo eléctrico.
- c. **Eficiencia:** Es el rendimiento de la batería, la energía que realmente aprovecha. Medido en %.
- d. **Coste:** Es la mayor influencia en el precio total del vehículo.
- e. **Ciclo de vida:** Ciclos completos de carga y descarga que soporta la batería antes de ser sustituida. Cuantos más ciclos mejor, ya que será más duradera.

**Tabla 8.**  
*Características principales de los tipos de batería*

	<b>Plomo-ácido</b>	<b>Ni-Cd</b>	<b>Ni-MH</b>	<b>Ion- Litio</b>
Tensión nominal por celda	2V	1,25V	1,25V	3,6V
Densidad energética	30 – 50 Wh/kg	45 – 80 Wh/kg	60 – 120 Wh/kg	100 – 135 Wh/kg
Número de ciclos de carga/descarga	200 – 300	>1000	300 – 500	300 - 500
Tiempo de carga	8 – 16h	1h	2 – 4h	1h o menos

**Adaptado de:** Armando Donado, 2021

#### 4.11. Comunicación Inalámbrica

La comunicación inalámbrica es el tipo de comunicación en la que no se utiliza un medio de propagación físico alguno, esto quiere decir que se utiliza la modulación de ondas electromagnéticas, las cuales se propagan por el espacio sin un medio físico que comunique cada uno de los extremos de la transmisión. En ese sentido, los dispositivos físicos sólo están presentes en los emisores y receptores de la señal, como, por ejemplo: antenas, computadoras portátiles, PDA, teléfonos móviles, etc.

##### 4.11.1. Principales tipos de conexiones inalámbricas

**4.11.1.1. Bluetooth:** Pertenece al estándar IEEE 802.15.1. Originalmente Bluetooth fue diseñado para comunicaciones omnidireccionales de bajo consumo de energía, corto alcance y con dispositivos baratos, reemplazando el uso de cables y conectando los dispositivos a través de una conexión ad hoc por radio. Hoy en día los desarrolladores están diseñando componentes



y sistemas habilitados para Bluetooth para una gama de aplicaciones adicionales. donde el rango es de unos 100 metros, 10 metros y 1 metro, respectivamente. El uso de la banda de 2,4 GHz, permite que dos dispositivos dentro del rango de cobertura de cada uno puedan compartir hasta 720 Kbps de velocidad de transferencia (Salazar, 2017).

**4.11.1.2. ZigBee:** Está basado en el estándar IEEE 802.15.4 que fue desarrollado como un estándar global abierto para abordar las necesidades de fácil aplicación, alta fiabilidad, bajo costo, bajo consumo y bajas velocidades de transmisión de datos en redes de dispositivos inalámbricos. ZigBee opera en las bandas sin licencia 2.4 GHz, 900 MHz y 868 MHz con una velocidad de transmisión máxima de 250 Kbps, lo suficiente para satisfacer las necesidades de un sensor y de automatización usando redes inalámbricas. ZigBee también sirve para la creación de redes inalámbricas más grandes que no exijan una gran cantidad de transmisión de datos (Salazar, 2017).

**4.11.1.3. Wi-Fi:** Es un sistema que permite crear redes inalámbricas, también conocidas como Wireless. Las redes inalámbricas Wifi constituyen una tecnología de uso cada vez más generalizado por diversos equipos informáticos: computadores, organizadores (PDA), consola de video juegos e incluso las impresoras también utilizan la tecnología Wifi para facilitar su conexión(Salazar, 2017).

**Tabla 9.**

*Comparativa entre las diferentes versiones de la especificación Wifi.*

	<b>802.11b</b>	<b>802.11g</b>	<b>802.11a</b>	<b>802.11n</b>
Tasa máxima de datos (Mbps)	11	54	54	300
Tasa real de datos (Mbps)	5	20	22	146
Nº de canales disponibles	3	3	12	3 en 2,4 GHz. 12 en 5 GHz
Probabilidad de interferencia	Alta	Alta	Baja	Baja
Comportamiento en entornos difíciles	Pobre	Medio	Bueno	Muy bueno
Compatibilidad	802.11b	802.11b/n	802.11a	802.11a/b/g/n
Frecuencias (GHz.)	2,4	2,4 2	5	2,4 y 5
Seguridad	WEP/WPA/ WPA2	WEP/WPA/WPA 2	WEP/WPA/WPA 2	WEP/WPA/WPA 2

**Adaptado de:** Salazar, 2017

#### 4.11.2. Características principales de las tecnologías inalámbricas

A la hora de transmitir datos, se ha recurrido a muchas tecnologías inalámbricas como puede ser ZigBee, Bluetooth o Wifi. Cada una de ellas presenta una serie de ventajas e inconvenientes que las hacen tener mayor o menor validez.

**Tabla 10.**  
*Características principales de las tecnologías inalámbricas.*

<b>Principales características</b>	
Bluetooth	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Opera en la banda libre de los 2,4 GHz. No necesitamos adquirir ninguna licencia de emisión.</li> <li>- Tiene una capacidad máxima de transmisión de hasta 3 Mbps.</li> <li>- Implementa diversos mecanismos de ahorro energético de forma que el dispositivo no siempre va a consumir la misma potencia con el consiguiente ahorro energético en la batería del dispositivo.</li> <li>- Posee un precio económico que permite implementarlo en casi cualquier dispositivo sin encarecerlo desmesuradamente.</li> <li>- Alcance de hasta 100 metros en función de la potencia de emisión que posea el transmisor Bluetooth.</li> </ul>
ZigBee	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baja capacidad de transmisión, en torno a 250 Kbps, que nos permitirá desarrollar sistemas de muy bajo coste.</li> <li>- Protocolo sencillo, pudiendo ser implementado sin ningún tipo de limitación en sistemas microcontroladores de 8 bits.</li> <li>- Muy bajo consumo energético permitiendo que la fuente de alimentación del sistema pueda durar años</li> </ul>
Wi-Fi	<p>802.11a</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Una capacidad de enlace de 54 Mbps.</li> <li>- Al trabajar en la banda UNII, posee mayor inmunidad frente a las interferencias por solapamiento puesto que dicha banda contempla el uso de 4 canales para este fin.</li> <li>- Uso de un rango de frecuencias relativamente libre como son los 5 GHz.</li> </ul> <p>802.11n</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mayor capacidad de transmisión, hasta 600 Mbps.</li> <li>- Retrocompatibilidad con los dispositivos 802.11a/b/g.</li> <li>- Uso de modos para ahorrar consumo y mejorar la utilización de los canales.</li> </ul>

- Aprovechamiento de los rayos multitrayectos para mejorar la capacidad de transmisión.

Adaptado de: Ruth Mujica, 2022

**Figura 21.**  
*Características técnicas de las tecnologías inalámbricas*

Standard	Bluetooth (BR/EDR)	Zigbee	Wi-Fi
IEEE specification	802.15.1	802.15.4	802.11
Versions	V 1.2 V 1.2 V 2.0 + EDR V 2.1 + EDR V 3.0 + HS	0x01 @2004 0x02 @2006	802.11 @WLAN 802.11a @WLAN 802.11b @WLAN 802.11g @WLAN 802.11p @ Vehicular 802.11e @ QoS 802.11f @IAPP 802.11h @5GHz 802.11i @Encryption 802.11nUn@MIMO * <sub>2</sub>
Frequency band	2.4 GHz	868/915 MHz, 2.4 GHz	2.4 GHz @11g 5 GHz @11a
Data Rate	721.2 Kb/s V1.2 2.1Mb/sV2.0+EDR 24Mb/s V3.0+ HS* <sub>1</sub>	250Kb/s @2.4GHz 40Kb/s @915MHz 20Kb/s @868MHz	1-2Mb/s@11-2.4GHz 54Mb/s@11a-5GHz 11Mb/s@11b-2.4GHz 54Mb/s@11g-2.4GHz
Covered range	Class 1 - 100m Class 2 - 10m Class 3 - 1m	10-100m	30m @11a-5GHz 100m @11b-2.4GHz 100m @11g-2.4GHz
Transmission power	Class 1 - 20dBm Class 2 - 4dBm Class 3 - 0dBm	0dBm	15-20dBm

Adaptado de: Salazar, 2017

#### **4.11.3. Comunicación Bluetooth**

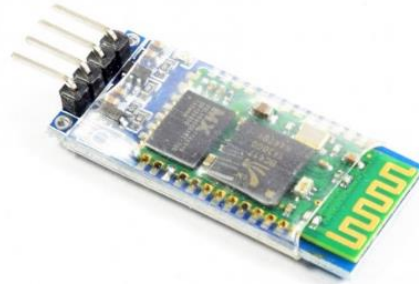
Bluetooth es un estándar abierto que opera para comunicaciones de radio frecuencia de corto alcance, este tipo de comunicación es utilizada primordialmente para establecer redes inalámbricas personales; en la que se accede a la conexión entre dispositivos que estén dentro del rango de 10m, pero se lo puede extender hasta 100m usando amplificadores especiales (Olivo Arroyo & Gallegos Díaz, 2018).

#### **4.11.4. Módulo Bluetooth**

El módulo Bluetooth HC-06 nos permite conectar nuestros proyectos con Arduino a un smartphone o PC de forma inalámbrica, con la facilidad de operación de un puerto serial. La transmisión se realiza totalmente en forma transparente al programador, por lo que se conecta en forma directa a los pines seriales del microcontrolador de preferencia (Naylamp Mechatronics, 2021).

Todos los parámetros del módulo se pueden configurar mediante comandos AT, además, la placa incluye un regulador de 3.3V, que permite alimentar el módulo con un voltaje entre 3.6V - 6V. Este módulo es el complemento ideal para nuestros proyectos de robótica, domótica y control remoto con Arduino, PIC, Raspberry PI, ESP8266, ESP32, STM32, etc.(Naylamp Mechatronics, 2021).

**Figura 22.**  
*Módulo Bluetooth HC-06*



**Adaptado de:** Naylamp Mechatronics, 2021

#### **4.11.5. Dispositivos móviles**

Son aparatos de tamaño pequeño que permiten portarse y ser fácilmente empleados durante su transporte; además que posee algunas propiedades de procesamiento, con conexión inalámbrica, memoria ilimitada, que ha sido diseñados específicamente para una función pero que pueden ser utilizados para otras más generales; entre algunos de sus ejemplos podemos encontrar los reproductores de audio, teléfonos móviles, los PDA's, tabletas, etc. (CEUPE, 2017).

**Figura 23.**  
*Dispositivos móviles*



**Adaptado de:** CEUPE, 2017

#### **4.11.6. Teléfonos móviles**

Son dispositivos electrónicos inalámbricos que se basan en la tecnología de ondas de radio, donde su función básica es igual que cualquier teléfono fijo. Una de sus características

fundamentales es su portabilidad, es decir; que para realizar cualquier llamada no necesita de algún cable conectado (Muñoz & Idrovo, 2018).

Su evolución ha permitido que disminuyan en tamaño y peso, desde el Motorola DynaTAC, el primer teléfono móvil en 1983 que pesaba 780 gramos, a los actuales más compactos y con mayores prestaciones de servicio, donde se convierte en un dispositivo de mensajería, además de funciones adicionales como cámara, juegos, acceso a internet e incluso acceso a GPS (Muñoz & Idrovo, 2018).

#### 4.12. RemoteXY

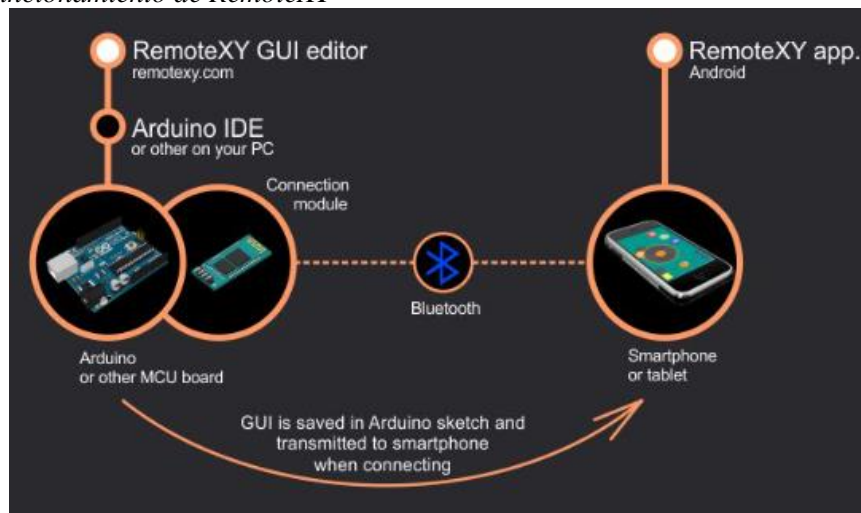
RemoteXY es un entorno que permite crear y utilizar de manera fácil su interfaz gráfica de usuario móvil para que las placas controladoras la manden a través de cualquier dispositivo inteligente (RemoteXY, 2019).

RemoteXY permite:

- Desarrollar cualquier interfaz gráfica de gestión, utilizando los elementos de control, visualización y decoración en cualquier combinación de los mismos.
- Después del desarrollo, se obtiene el código fuente del microcontrolador que implementa su interfaz; este proporciona una estructura para la interacción entre su programa con los controles y la pantalla.
- Administrar el dispositivo del microcontrolador usando su teléfono inteligente o tableta con la interfaz gráfica.

**Figura 24.**

*Esquema de funcionamiento de RemoteXY*



Adaptado de: RemoteXY, 2019

## **5. Metodología**

### **5.1. Contexto**

Tomando en cuenta la baja calidad de vida que presentan las personas con discapacidad física reducida a nivel de sus miembros inferiores, se busca implementar un prototipo económico y compuesto de materiales de fácil adquisición, que le permita al usuario propulsarse de acuerdo a sus necesidades, es decir, le posibilite la movilidad o traslado de una manera segura, rápida y autónoma; y así, ayudarlos a ser más útiles para ellos mismos y la sociedad. El campo de investigación es aplicado, es decir, se utilizan tecnologías en el campo de la electrónica, robótica y mecánica con el fin de resolver un problema específico en la movilidad de una persona con discapacidades físicas en un entorno en específico.

### **5.2. Etapas o fases de diseño**

Con base en los objetivos enmarcados que dieron auge al presente proyecto, se realizaron diversas actividades para el cumplimiento de cada uno de ellos, el procedimiento se detalla a continuación:

1. Elaborar una revisión bibliográfica de los sistemas de control y propulsión eléctrica para establecer el mejor diseño que se utilizará en la silla de ruedas convencional.
  - a. Se realizó una recopilación bibliográfica, en base a los pilares teóricos fundamentales del proyecto, utilizando palabras clave que giran en torno a las enfermedades físicas que afectan los miembros inferiores y sobre sus repercusiones en la persona; además, el uso de tecnologías de apoyo como las sillas de ruedas.
  - b. Se seleccionó la información relevante y se determinaron los requerimientos básicos del sistema de control y de automatización, en relación a las propiedades del motor y la silla de ruedas a implementar.
  - c. Se definieron los límites de operación y las características de control que el prototipo entrega al usuario.
2. Determinar los elementos necesarios para diseñar el mecanismo que se va a implementar en la silla de ruedas eléctrica, teniendo en cuenta los diferentes prototipos de bajo costo existentes en el mercado.
  - a. Se analizaron y seleccionaron todos los elementos necesarios para la construcción del sistema eléctrico y mecánico para el prototipo de silla de ruedas eléctrica.

- b. Se elaboró el diseño 3D de la estructura de la silla de ruedas convencional seleccionada. A partir de esa estructura se realiza el diseño del acople que se va añadir con el fin de mejorar la disposición los elementos.
  - c. Se comenzó construyendo los acoples que se van a implementar en la estructura de la silla de ruedas; y, además se modifica las ruedas de la silla de ruedas para poder colocar el motor seleccionado.
  - d. Se diseñó un circuito de control utilizando materiales electrónicos idóneos.
  - e. Se realizaron pruebas del circuito de control con diferentes códigos y elementos con el fin de determinar el más apto para alcanzar un correcto funcionamiento.
  - f. Se diseño y creo una aplicación móvil para tener otra forma de control del prototipo de silla de ruedas eléctrica.
3. Construir el sistema de control seleccionado para la automatización de la silla de ruedas y posteriormente desarrollar una etapa de evaluación del mismo.
- a. Se obtuvieron todos los componentes y elementos necesarios para realizar el ensamblaje final del prototipo de silla de ruedas eléctrica.
  - b. Se fijaron las bases adicionales a la estructura de la silla de ruedas y se colocaron las ruedas modificadas.
  - c. Se elaboró una placa PCB para el circuito de control.
  - d. Se instaló la palanca de mando y los frenos en los antebrazos de la silla de ruedas.
  - e. Se imprimieron elementos 3D necesarios para protección, entre estos están la base para la palanca de mando y las cajas para proteger la batería y todo el sistema de control.
  - f. Se realizó el acople de los cables de alimentación tanto para el circuito de control y activación de los motores.
  - g. Se realizaron pruebas de desempeño para verificar el movimiento del prototipo de silla de ruedas eléctrica.
  - h. Se verificó que el aplicativo móvil se conecte y funcione correctamente.
  - i. Se comprobó que todos los elementos colocados estén correctamente ubicados para no causar fallas en el control del prototipo.
  - j. Se realizó un análisis de costos de elaboración.
  - k. Se comparó el prototipo realizado con modelos existentes en el mercado.
  - l. Se valido el sistema implementado con personas con discapacidad física

### **5.3. Recursos**

Para cumplir con los objetivos propuestos, se empleó los siguientes recursos:

### 5.3.1. *Recursos Científicos*

- **Método Analítico:** Es la identificación y separación de los componentes de un todo, para ser estudiados por separado y examinar las relaciones entre las partes; considerando que la particularidad es parte de la totalidad y viceversa (Naval, 2004). En el presente Trabajo de Titulación, se empleó este método para recopilar y desarrollar de manera coherente y ordenada, los puntos establecidos en los objetivos específicos.

### 5.3.2. *Recursos Técnicos*

- **Herramientas Colaborativas:** Se utilizaron de herramientas colaborativas disponibles en internet tal como; Zoom y Gmail como herramientas principales de comunicación entre los implicados.
- **Entornos de desarrollo de software:** Se empleo el IDE Arduino como medio de desarrollo del código fuente para la ejecución del prototipo. Además de RemoteXY que nos ayudó para realizar la interfaz gráfica para el aplicativo móvil.
- **Software de diseño eléctrico/electrónico:** Se utilizaron herramientas digitales de diseño y simulación de los dispositivos electrónicos, como fritzing y proteus, para poder entender de mejor manera como se obtendría el control y manejo del prototipo.
- **Software de modelado 3D:** Para el diseño estructural se llevó a cabo a partir de la herramienta digital de modelado solidworks; que permitió tener un concepto más general de como terminaría nuestro prototipo.
- **Impresora 3D:** Ya para finalizar con la etapa de ensamble y construcción fue importante elaborar estructuras y piezas personalizadas a base de plástico que se las obtuvieron mediante impresión 3D.



## 6. Resultados

En la siguiente sección se ha detallado la evidencia de los resultados obtenidos a lo largo de la ejecución del Trabajo de Titulación en base a los objetivos específicos propuestos.

### 6.1. Selección de componentes

La selección de los diferentes dispositivos es la parte primordial para un buen funcionamiento de este sistema; los mismos se deben escoger a un precio razonable para disminuir el costo con respecto a los productos existentes en el mercado. Cabe recalcar, que este prototipo en primera instancia será para uso en interiores, es decir, destinado a centros de salud, ancianatos, entidades financieras, instituciones públicas y privadas.

#### 6.1.1. Silla de ruedas básica plegable

Para seleccionar la silla de ruedas se realiza una tabla comparativa en donde se presentan los modelos básicos, tal como se puede observar en la siguiente tabla:

**Tabla 11.**  
*Tipos de sillas de ruedas manuales*

---

				
<b>Marca</b>	Decoart	<b>Medic life</b>	K&I	TopMedic
<b>Peso máx. soportado</b>	120 kg	<b>100 kg</b>	100 kg	115 kg
<b>Tipo de silla de ruedas</b>	Manual	<b>Manual</b>	Manual	Manual
<b>Material</b>	Acero pintado color negro	<b>Acero</b>	Acero	Acero
<b>Plegable</b>	Si	<b>Si</b>	No	Si
<b>Precio</b>	\$ 151.20	<b>\$149.99</b>	\$234.90	\$210.99

---

La silla de ruedas de marca Medic life es la más básica y su modelo tiene mayor uso en nuestra ciudad; además de que es la más económica en el mercado, tal y como se pudo observar

en la Tabla anterior. Esta silla de ruedas permite una mayor facilidad de uso, almacenamiento y transporte, gracias a su estructura de acero de alta resistencia. La Cubierta del asiento y respaldo son de Tevinil lavable y desinfectable, especial para una mayor comodidad del usuario y Doble Cruceta para resistir el peso.

Asimismo, cuenta con una estructura plegable y con sus respectivos apoyabrazos abatibles y piñeras móviles, los cuales tienen superficie de apoyo acolchada blanda y un apoyo pies con plataforma plástica resistente; con respecto a su peso, esta silla de ruedas pesa alrededor de 25 a 30 kg.

**Figura 25.**

*Silla de ruedas adquirida*



**6.1.2. Selección del motor.**

Teniendo en cuenta que la silla está orientada para personas que tienen un peso que oscila entre los 50 a 100 kg, se tomó el máximo valor y; además, se contempla el uso de algunos accesorios, elementos y componentes los cuales agregarían un peso adicional, que se lo considera alrededor de 50kg, por lo tanto; la masa total estimada de la silla es de 150kg.

Con relación a la topografía de la ciudad de Loja, se presenta gran variación en cuanto a pendiente, los rangos varían desde 0% a más de 150%, como se puede observar en la siguiente tabla:

**Tabla 12.**

*Pendiente en el cantón de Loja*

<b>Categoría de Pendiente</b>	<b>Rango</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>%</b>
<b>PLANA</b>	0 – 2 %	1,0	0,0
<b>MUY SUAVE</b>	> 2 – 5 %	901,2	0,5
<b>SUAVE</b>	> 5 – 12 %	5200,3	2,7
<b>MEDIA</b>	> 12 – 25 %	11623,0	6,1

<b>MEDIA A FUERTE</b>	> 25 – 40 %	22193,5	11,7
<b>FUERTE</b>	> 40 – 70 %	77669,5	41,0
<b>MUY FUERTE</b>	> 70 – 100 %	28976,7	15,3
<b>ESCARPADA</b>	> 100 – 150 %	475,1	0,3
<b>NO APLICABLE</b>	NO APLICABLE	42182,3	22,3

**Adaptado de:** Terán, 2022

De acuerdo a la tabla anterior, se estimará el uso de una pendiente plana y la que está presente de forma más regular que comprenden el rango entre 40 y 70%, el cual equivale al 41%. Otro factor que se considera es el coeficiente de fricción; cuyo valor dependerá del material en el que están fabricadas las ruedas de la silla de ruedas seleccionada.

**Tabla 13.**  
*Coeficiente de fricción*

<b>Combinaciones de materiales y materiales</b>		<b>Condiciones de superficie</b>	<b>Coefficiente friccional estático</b>
Neumático de coche	Asfalto	Limpio y seco	0,72

**Adaptado de:** Engineering ToolBox, 2004

Se supondrá una velocidad máxima de 3.5m/s en plano, valor promedio de las sillas de ruedas eléctricas existentes en el mercado (TECNUM, 2020), y una aceleración de 0.6m/s<sup>2</sup> en terreno plano; y de 0.4m/s<sup>2</sup> en subida (Torres Perez et al., 2020), además se toma la gravedad de Ecuador que es de 9.78m/s<sup>2</sup> que redondeado queda como 9.8 m/s<sup>2</sup> que será el valor que vamos a utilizar.

Los cálculos que se presentan a continuación son para determinar el máximo de potencia en cada situación; es decir, bajo el supuesto que se utilice la silla de ruedas al máximo desempeño permitido.

La potencia se mide en joule por segundo (J/seg) y se representa con la letra “P”. Para el cálculo de potencia de los motores de la silla, se pueden utilizar dos fórmulas:

$$P = \frac{W}{t} \quad (1)$$

Donde:

P = Potencia [Watts; Joule/segundo]  
W = Trabajo [Joule o Newton\*metro]

t = Tiempo [segundo]

$$P = W/t = F*d/t = [N*m/s] = F*v$$

$$P = F * v \quad (2)$$

Donde:

P = Potencia [W; J/s]

F = Fuerza [N]

v = Velocidad [m/s]

Como se vio anteriormente, la unidad de medida de la potencia es el Watt (Sistema Internacional); aunque, también se maneja el caballo de potencia (hp) para cuantificarla.

$$1\text{hp} = 745,7\text{W} \quad (3)$$

También, la potencia es calculada:

$$P = F [\text{kgf}] * v [\text{m/s}] \quad (4)$$

Y la conversión de Newton a kgf es:

$$1\text{kgf} = 9.802\text{N} \quad (5)$$

- **Pendiente 0%**

Se halla el peso que debe ser movido por la silla:

$$W = m * g \quad (6)$$

$$W = 150\text{kg} * 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$W = 1470 \text{ N}$$

La fuerza a desarrollar para vencer la fricción es de:

$$F = ma + FFr \quad (7)$$

Donde, “FFr” se representa a la fuerza de fricción o de rozamiento, que se calcula con el coeficiente de fricción seleccionado por el peso.

$$F = (150\text{kg} * 0.6\text{m/s}^2) + (0.72 * 1470\text{N})$$

$$F = 90\text{kgm/s}^2 + 1058.4 \text{ N}$$

$$F = 1148.4 \text{ N}$$

$$F = 117.1598 \text{ kgf}$$

Y la potencia:

$$P = VF(kgf) \quad (8)$$

$$P = 3.5 \text{ m/s}^2 * 117.1598 \text{ kgf}$$

$$P = 410.0593 \text{ W}$$

Transformando a hp:

$$P = 410.0593 \text{ W} * \frac{1 \text{ hp}}{745.7 \text{ W}} = 0.55 \text{ hp}$$

Con respecto al resultado anterior significa que para lograr la velocidad de 3.5m/s, a 0.6m/s<sup>2</sup> el motor debe ser capaz de suministrar 0.55 hp; no obstante, teniendo en cuenta el diseño que se va a ensamblar la potencia se repartiría entre los dos motores, donde cada motor debe ser capaz de suministrar aproximadamente 0.275 hp para lograr este comportamiento.

- **Pendiente 41%**

Se halla el peso que debe ser movido por la silla:

$$W = m * g$$

$$W = 150\text{kg} * 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$W = 1470 \text{ N}$$

Como se observa el peso a mover es el mismo; la diferencia con la situación anterior, es que se tiene una inclinación del 41% que en grados se representa de la siguiente manera:

$$^{\circ}\text{Pendiente} = \tan^{-1} \left( \frac{\text{valor de la pendiente \%}}{100\%} \right) \quad (9)$$

$$^{\circ}\text{Pendiente} = \tan^{-1} \left( \frac{41 \%}{100\%} \right)$$

$$^{\circ}\text{Pendiente} = 22.29^{\circ}$$

Una vez que se obtiene el valor de la pendiente en grados se calcula la fuerza:

$$F = ma + FF_r + W\text{Sen}(22.29)$$

$$F = (150\text{kg} * 0.4\text{m/s}^2) + (0.72 * 1470\text{N}) + 1470 * \text{Sen}(22.29^{\circ})$$

$$F = 60\text{kgm/s}^2 + 1058.4 \text{ N} + 557.5632$$

$$F = 1675.96 \text{ N}$$

$$F = 170.98 \text{ kgf}$$

Y la potencia:

$$P = VF(kgf)$$

$$P = 1.5 \text{ m/s}^2 * 170.98 \text{ kgf}$$

$$P = 512.94 \text{ W}$$

Transformando a hp:

$$P = 512.94 \text{ W} * \frac{1 \text{ hp}}{745.7 \text{ W}} = 0.69 \text{ hp}$$

Como ya se había mencionado se trabaja con dos motores, por lo cual, dadas las especificaciones de velocidad y aceleración con respecto a la inclinación de 22.29° requiere de 0.345 hp por cada motor.

Una vez que se tienen los parámetros de operación, se elige el tipo de motor que, para este prototipo se selecciona los motores sin escobillas o brushless, debido a sus numerosas ventajas de operación y funcionamiento, de las cuales se destaca las siguientes:

- **Mejor respuesta dinámica.**
- **Más eficiencia energética, para ahorrar energía.** Esto se refleja el estado de los dispositivos con batería.
- **Menor sobrecalentamiento.** No necesitan de sistemas de disipación adicionales, ni generan un desgaste excesivo.
- **Menor ruido.** Son mucho más silenciosos.
- **Velocidad más elevada.** Ideal para bicicletas eléctricas o en los drones de competición.
- **Compactos.** Son bastante más compactos en igualdad de condiciones que un motor con escobillas.
- **Sin mantenimiento.** No se producen paradas inoportunas por desgaste de las escobillas, ni limpiar el polvo generado, etc.

De este tipo de motor se encuentran diversas opciones en el mercado, ya que como se había mencionado anteriormente son bastante usados en bicicletas eléctricas. En la Tabla 14 se encuentran algunas variaciones de estos con potencias que van desde los 250 W a los 1000 W, para elegir el más adecuado para el sistema de propulsión.

**Tabla 14.**  
*Tabla comparativa de motores*

	<b>POTENCIA NOMINAL</b>	<b>VOLTAJE</b>	<b>VELOCIDAD MÁXIMA</b>	<b>PRECIO</b>
1	250W	36V	18.64mph	\$199.99
2	350 w	36V	16-18mph	\$259.90

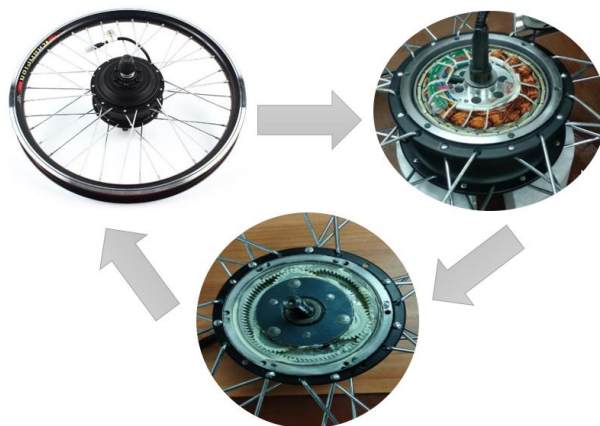
3	500 W	36V	22mph	\$298.99
4	1000W	48V	28 mph	\$365.99

Para el prototipo que se propone no es necesario de un motor que genere una velocidad considerable, se necesita un motor que pueda desplazarse a una velocidad moderada. De los motores expuestos en la Tabla 14 se seleccionó el motor número 1. Para implementar en nuestro proyecto se adquiere dos motores de 250W que poseen las siguientes características que se presentan en la tabla 15.

**Tabla 15.**  
*Características técnicas del motor seleccionado*

Características del motor	
Nombre de la marca	LOYALHEARTDY
Fabricante	HezeStar
Voltaje	36V
Potencia	250W
Velocidad Máxima	18,64 mi/h
Tamaño	16.516.5x1.3 in.
Peso	15.4 lbs.

**Figura 26.**  
*Motores brushless de 36 V a 250W*



### 6.1.3. Selección de batería.

Después de haber realizado el análisis comparativo de las principales características de diferentes tipos de batería, se selecciona las baterías de iones de litio; debido a que las baterías de iones de litio tienen una vida útil de 8 a 10 años; pesan aproximadamente un 60% menos que las baterías de plomo ácido y un 70% más compactas, esto hace que las baterías sean más

fáciles de transportar e instalar y; además, se encargará de suministrar la energía necesaria al sistema.

Una vez seleccionado el material de la batería procedemos a calcular la capacidad de descarga, tomando en cuenta la potencia del motor que es de 250W y, considerando una autonomía de 75 min, ya que el prototipo se va a implementar en centros hospitalarios, instituciones públicas o privadas donde su uso va a ser reducido. A continuación, se calcula el consumo diario que va a tener la batería:

$$C_d = P_m \times A \quad (10)$$

Donde:

$C_d$  = Consumo diario [Wh/día]

$P_m$  = Potencia del motor [W]

$A$  = Autonomía [min]

$$C_d = 250W \times \frac{1.25h}{día}$$
$$C_d = 321.5 Wh/día$$

Al obtener el valor del consumo diario se hace una relación con el voltaje de los motores que en este caso son de 36V para obtener el valor total del consumo que tendrá la batería, como se detalla a continuación:

$$C_B = \frac{C_d}{V_m} \quad (11)$$

Donde:

$C_B$  = Consumo de la batería [A/h]

$V_m$  = Voltaje del motor [W]

$C_d$  = Consumo diario [Wh/día]

$$C_B = \frac{321.5 \frac{Wh}{día}}{36V}$$
$$C_B = 8.67 Ah$$

Concluyendo con el respectivo análisis, la batería que se adquiere será de iones de litio con un consumo de 10Ah.



**Figura 27.**  
*Batería de ion-litio de 36V 10Ah.*



#### **6.1.4. Frenos**

Para el sistema de frenos se utilizan unas asas de freno que emplean un sensor que proporcionan un corte eléctrico garantizando así la seguridad del usuario mientras protege el motor; además para complementar el uso de dichas asas se emplean frenos de disco que son usados en bicicletas; por tal motivo se acopló un soporte que permite fijar las mordazas a la estructura. El freno mecánico ayuda a controlar la masa inercial de la silla de ruedas.

**Figura 28.**  
*Sistema de frenos empleados.*



Con el objeto de salvaguardar la seguridad del usuario además de sistema de frenos mecánico-manual se ajustan los frenos manuales que vienen implementados en las sillas de ruedas convencionales.

**Figura 29.**  
*Frenos manuales implementados en la silla de ruedas.*






### 6.1.5. Joystick

Para el desarrollo del sistema de control se empleó un joystick que tendrá la función de comandar las señales de direccionamiento de la silla de ruedas, los cuales envían una señal de 0 a 5V al microcontrolador para ser procesada y generar señales de control PWM; cabe destacar que el joystick se basa en un arreglo de dos potenciómetros para cada plano de desplazamiento (x, y). Se pueden emplear varios modelos de joystick que existen, dentro de los más comunes tenemos:

**Tabla 16.**

*Tipos de Joysticks*

CARACTERÍSTICAS MODELOS	TIPO	PINES		GRÁFICO
JOYCON 4.0	Análogo	2	1	
JOYSTICK ARCADE	Análogo	2		
JOYSTICK KY-023	Análogo	2	1	

De acuerdo, a la tabla anterior, la mejor opción para implementar en el sistema de control, es el joystick KY-023 debido a que es versátil, de fácil implementación y de uso cómodo para el usuario. Se compone de 5 pines de conexión de los cuales dos pines son analógicos y un pin digital; dos pines de alimentación 5V y GND; además, se basa en dos ejes independientes que se pueden conectar a cualquier microcontrolador, en nuestro caso el Arduino MEGA2560.

**Figura 30.**

*Joystick KY-023*



Una vez descrito los elementos que intervendrán en el prototipo se procedió a diseñar la estructura a implementar y los diferentes circuitos que forman parte de este sistema. Cabe recalcar que, después del análisis realizado el sistema está siendo suministrado por una batería de iones de litio que permite un voltaje de 36 y 10Ah aproximadamente, este voltaje ingresa al módulo de control y al módulo de fuerza para transmitir el movimiento a las ruedas donde se implementarán los motores brushless de 250W por medio del mando manual o inalámbrico.

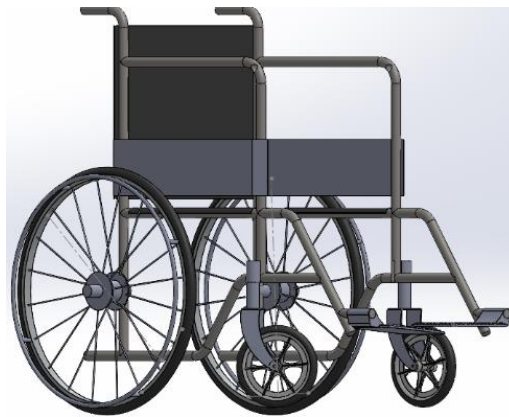
## **6.2. Diseño e implementación del sistema de propulsión**

### **6.2.1. Diseño mecánico o estructural**

El diseño mecánico compete a la creación de nuevas bases, que posibiliten la unión y soporte de los nuevos elementos, que son importantes para la el cambio de silla manual a una eléctrica. El prototipo se diseña a partir de la estructura original de la silla de ruedas manual adquirida, tal y como se puede observar en la Figura 31.

#### **Figura 31.**

*Modelado 3D de la silla de ruedas original*



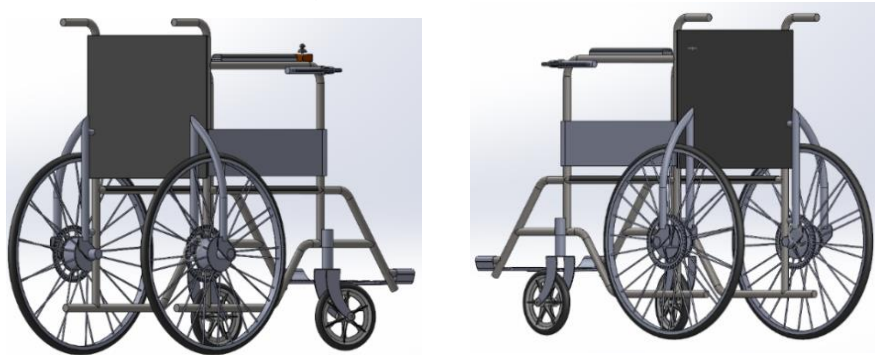
La estructura adicional tiene que ser fabricada con materiales que puedan facilitar la manipulación y la fusión del mismo al material de la estructura original, además el peso del sistema interviene en la potencia que necesitan los motores para propulsar la silla de ruedas; dicha estructura debe tener la resistencia necesaria, para que garantice la integridad del usuario y del prototipo; asimismo el material debe permitir su adherencia a otros elementos por medio de soldadura sin requerir de técnicas auxiliares manteniendo sus propiedades mecánicas.

Como se puede observar en las Figura 32, la idea principal consiste en utilizar un complemento externo a la silla de ruedas, el cual sea fácil de fusionar con la estructura original de la silla de ruedas y soporte el montaje de los elementos necesarios para automatizar la silla de ruedas, tal como, los motores, el sistema de freno, etc. Por otra parte, para acoplar los

motores eléctricos se modificó las ruedas que vienen de fábrica de la silla de ruedas, es decir, se elimina el aro de empuje y se reemplaza el eje por el motor, mientras que para el sistema de freno y control se considera acoplar una base en L en cada lateral donde se posicionará la palanca de freno y el joystick, respectivamente. Se coloca de esta manera para que el usuario pueda tener mayor control y comodidad.

**Figura 32.**

*Modelado 3D de la silla de ruedas modificada*



### 6.2.2. Construcción de la estructura

Para la construcción de las bases que se fusionarán para obtener la versión final del prototipo, se parte de los planos CAD que se mencionaron anteriormente, especificando en dónde y que forma tendrá la estructura adicional, tal como se puede apreciar en la Figura 33.

**Figura 33.**

*Estructura adicional en 3D*



Como resultado en la Figura 34, se puede observar la base que se construyó a manera de una horquilla, que simula ser el trinchete de una bicicleta permitiendo así situar las ruedas con los respectivos motores. Esta estructura se compone de tubo de acero estructural y se la coloca en la parte trasera lateral.

**Figura 34.**  
*Acople de estructura.*



Además de las bases que se observan en la figura anterior, para poder colocar las ruedas son necesarias unas piezas tipo ganchos que ayudaran a sostener las mismas y sobre todo que sirvan de soporte para agregar los elementos mecánicos que complementan al freno. Dichas piezas se las toma de referencia de la estructura de una bicicleta normal, así como se observa en la siguiente figura.

**Figura 35.**  
*Piezas de referencia para el acople de los motores.*



Como se observa en la figura 35 en primer lugar se parte de los moldes de las piezas necesarias. Una vez que se tiene los moldes de cada pieza se procede a cortar cada una de ellas cuidadosamente, obteniendo las piezas mostradas en la figura 36.

**Figura 36.**

*Moldes de las piezas para las bases de la estructura.*



**Figura 37.**

*Piezas de agarre.*



Por último, cada par de piezas se añadirá a cada base principal tal y como se aprecia en la figura 38, permitiendo así que al colocar las llantas con sus respectivos motores y mecanismo de freno sin problema alguno.

**Figura 38.**

*Bases completas.*



Por otra parte, para colocar todo el sistema eléctrico y electrónico, se colocan unas bases en la parte inferior de la silla de ruedas a cada lado, tal como se observa en la Figura 39, lo que permitirá que en dichas bases se coloquen tanto la batería como el sistema eléctrico-electrónico.

**Figura 39.**

*Bases para colocar la batería y el sistema eléctrico-electrónico.*



Cuando se tienen todas las bases y piezas necesarias para el ensamblaje, con sus correspondientes medidas, cortes necesarios y agujeros realizados se procede a modificar las ruedas de la silla de ruedas manual. Teniendo en cuenta que el motor que se va a emplear es un motor eléctrico que se usa en bicicletas eléctricas se procedió a acoplar a dicho motor a las ruedas de la silla de ruedas manual, por tal motivo elimina el aro de empuje y se cambia los radios por unos rayos de moto de 21 cm que permitirán acoplar el motor al aro. En la figura 40 se puede observar el resultado final de como quedarían las ruedas a implementar a nuestro prototipo.

**Figura 40.**

*Rueda modificada.*



Una vez que se puntualizaron los elementos principales que actuarán en la realización del prototipo y se realizó la estructura de acople se comienza a diseñar los diferentes circuitos que intervendrán en el sistema de control y automatización.

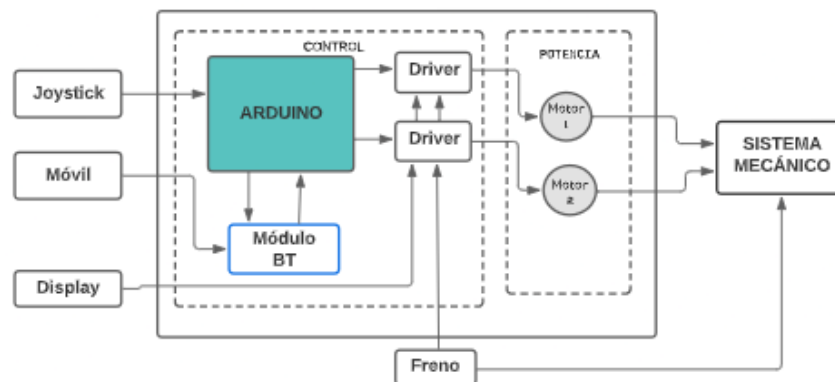
### 6.2.3. Diseño del circuito de control del prototipo

Para este proyecto se considera un sistema de lazo abierto, tal como se puede observar en la Figura 41; la entrada está determinada por un joystick KY-023 que genera dos señales analógicas que representan las posiciones del movimiento de los motores sin escobillas, dichas señales son ingresadas al microcontrolador MEGA2560 donde se realiza la conversión de las señales analógicas a dos señales PWM que ingresan a los drivers del motor. Finalmente, los motores ejercerán acción sobre el proceso mecánico permitiendo el movimiento de las ruedas que propulsarán a la silla de ruedas.

Como una señal de entrada adicional participan el dispositivo móvil y modulo bluetooth HC-06, el cual permite la comunicación inalámbrica. La señal de este módulo será procesada por el microcontrolador, permitiendo manejar el dispositivo de una manera remota.

**Figura 41.**

*Diagrama de bloques del sistema a implementar.*

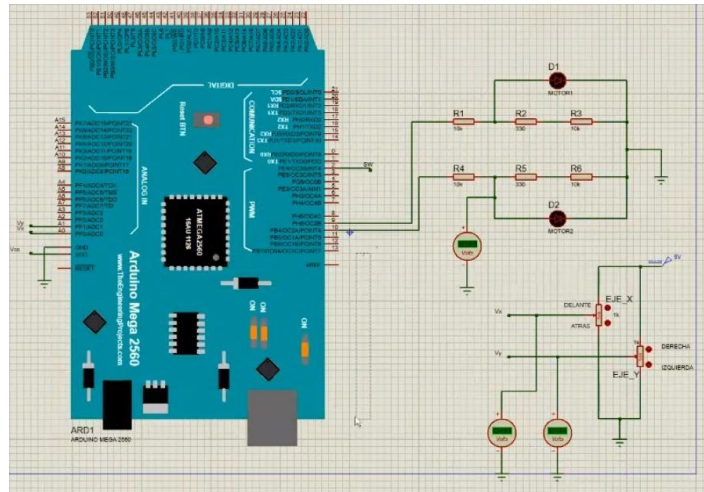


Para el sistema de control el joystick nos va a permitir tomar el cambio de dos divisores de voltaje como señales análogas y convertirlas en coordenadas de desplazamiento, estos divisores de voltaje de desplazamiento vertical y horizontal van conectados a los pines análogos 0 y 1 respectivamente.

El movimiento vertical de la palanca de mando producirá un voltaje analógico proporcional en el pin analógico 0, igualmente, el movimiento horizontal de la palanca de mando puede ser rastreada en el pin analógico 1; estas señales se envían al microcontrolador para cuantificar la posición del joystick.

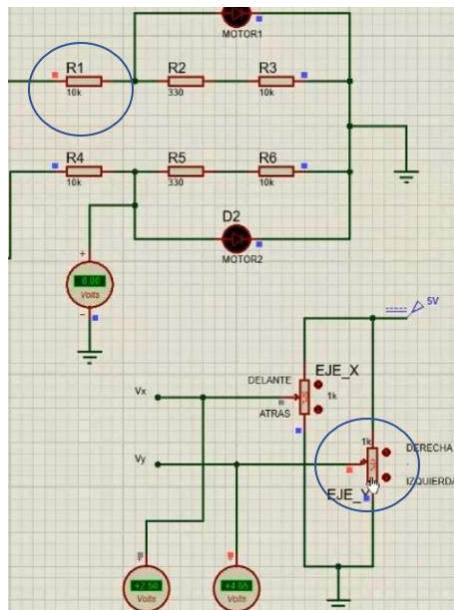


**Figura 42.**  
*Esquemas de comprobación del movimiento del joystick.*



La lógica de funcionamiento del esquema anterior, trata de que, mediante el joystick, se define una velocidad en la que se deben de mover los motores, esta velocidad será constante gracias al arreglo de resistencias que ayudaran que se mantenga en un solo valor. En la Figura 43 se puede observar que los potenciómetros que están colocados en la parte inferior derecha, al moverlo progresivamente va activar a uno de ellos o a los dos según sea el movimiento que se le dé; es decir, adelante, izquierda o derecha.

**Figura 43.**  
*Simulación de operación del joystick.*



#### 6.2.4. Software de aplicación

La programación se realiza en el entorno de desarrollo integrado de Arduino; donde se desarrolla la parte fundamental de este proyecto que es el control de movimiento. En primer lugar, se crean las variables y se definen los pines de entrada del joystick como señales analógicas denominadas  $VR_X$  y  $VR_Y$  en los pines ADC1 Y ADC0 respectivamente; mientras que los pines 6 y 7 serán los pines digitales de salida PWM para cada motor.

#### Void setup ()

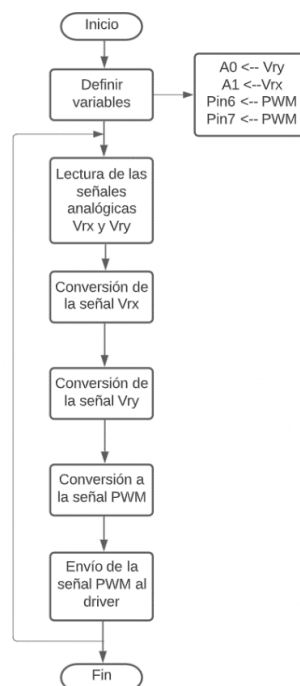
Esta función se ejecuta una sola vez y es donde se inicializan todas las variables y periféricos del microcontrolador que se van a utilizar, además se indica si los pines son de entrada o de salida, las señales digitales PWM son de salida y funcionan del 0 al 100% pero estos valores no procesan el microcontrolador; por lo que se linealiza de 0 a 255

#### Void loop()

En cambio, esta función se ejecuta continuamente y es donde se utilizan las variables declaradas anteriormente; primero leerá los valores del joystick, y luego se efectúa un analogRead de los valores en X y en Y, y finalmente se realiza un mapeo de los valores tanto en X como Y.

#### Figura 44.

Diagrama de flujo de la operación del joystick.



Otro punto en el que se trabajó fue el crear una aplicación móvil que permita el control de la silla de ruedas de forma inalámbrica; para el desarrollo de la aplicación móvil se utiliza el sitio web RemoteXY que es una manera fácil de crear y utilizar una interfaz gráfica. El diseño del sistema se crea a partir de elegir el tipo de conexión, la placa utilizada, el módulo y el entorno de desarrollo integrado.

**Figura 45.**

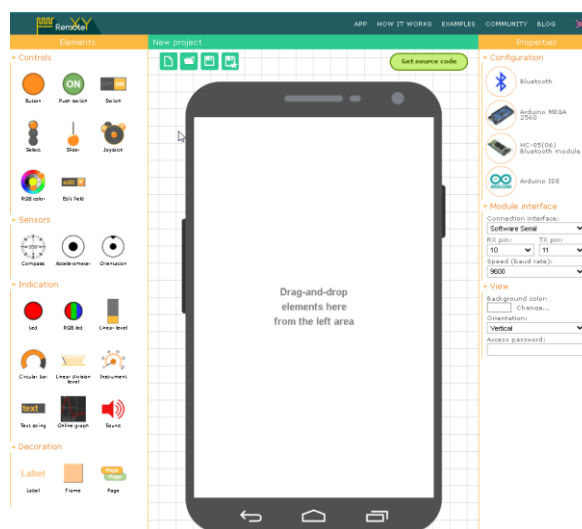
*Elementos para la configuración.*



Una vez seleccionadas las propiedades de configuración, se presenta el entorno en el que se va a trabajar, como se muestra en la Figura 46. En este entorno se coloca los elementos que vamos a utilizar para crear nuestra interfaz; cabe recalcar que se puede utilizar hasta 5 elementos en la interfaz gráfica de forma gratuita y sin límites; sin embargo, si hay más de cinco elementos en la interfaz, puede abrir la interfaz para realizar pruebas durante 30 segundos y de ser necesario se puede usar la interfaz sin restricciones en la cantidad de elementos, se debería comprar una licencia PRO.

**Figura 46.**

*Área de trabajo para la aplicación móvil.*

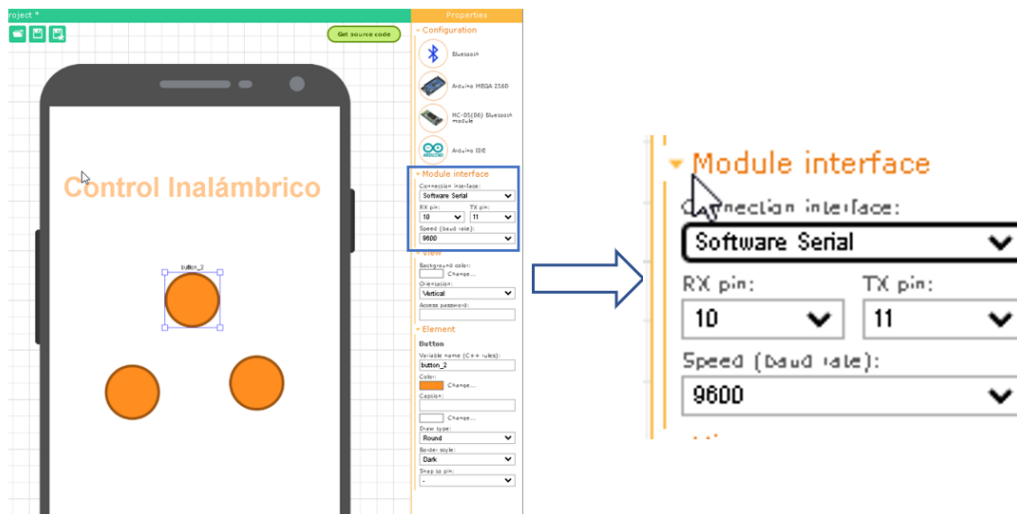


Para poder establecer el sistema de control hay que configurar los pines de entrada de manera de que se pueda ejecutar de manera similar que el joystick; estas configuraciones se las realiza en la sección de interfaz de módulo en la parte derecha del entorno de trabajo, como se

ve en la Figura 47, estas especificaciones permitirán la comunicación bluetooth entre el módulo con la tarjeta de control.

**Figura 47.**

*Área de trabajo para la aplicación móvil.*

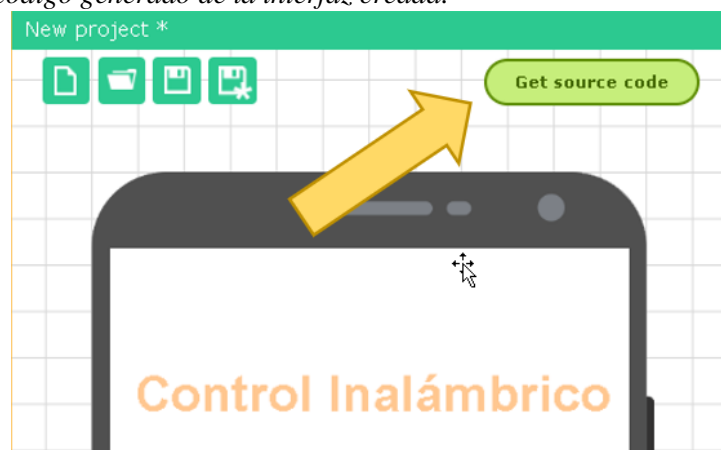


Por último, al terminar de diseñar la interfaz grafica y configurar todos los pines necesarios para la comunicación bluetooth, se genera un código, mismo que lo acoplaremos al programa principal de control de movimiento de los motores.

Para acceder a dicho código se selecciona el boton que se encuentra en la parte superior derecha del entorno de trabajo, asi como se muestra en la Figura 48. Para analizar el código a detalle se puede observar el Anexo 6.

**Figura 48.**

*Botón para acceder al código generado de la interfaz creada.*



**Figura 49.**

*Extracto del código generado.*

```
#include <RemoteXY.h>

// RemoteXY connection settings
#define REMOTEXY_SERIAL_RX 10
#define REMOTEXY_SERIAL_TX 11
#define REMOTEXY_SERIAL_SPEED 9600

// RemoteXY configurate
#pragma pack(push, 1)
uint8_t RemoteXY_CONF[] = // 66 bytes
{ 255,3,0,0,0,59,0,16,31,1,1,0,12,56,12,12,2,31,0,1,
0,25,36,12,12,2,31,0,1,0,39,54,12,12,2,31,0,129,0,3,
15,80,6,17,67,111,110,116,114,111,108,32,73,110,97,108,195,161,100,98,
114,105,99,111,32,0 };

// this structure defines all the variables and events of your control interface
struct {

// input variables
uint8_t button_1; // =1 if button pressed, else =0
uint8_t button_2; // =1 if button pressed, else =0
uint8_t button_3; // =1 if button pressed, else =0
```

**Figura 50.**

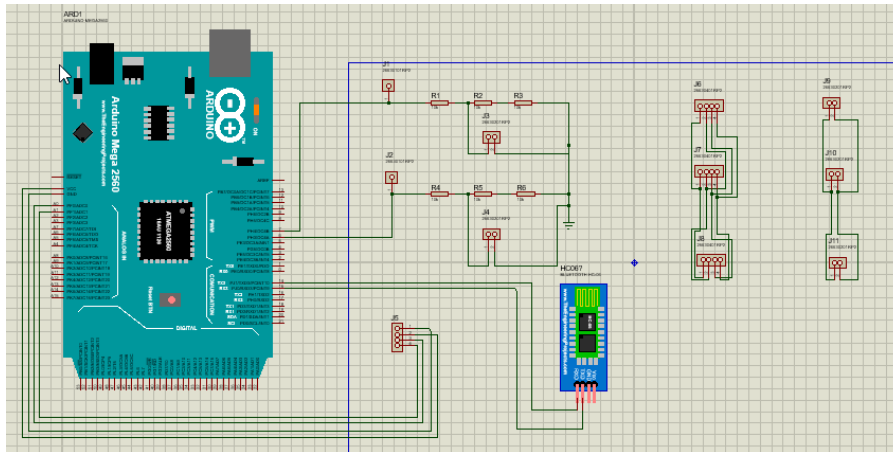
*Interfaz gráfica realizada.*



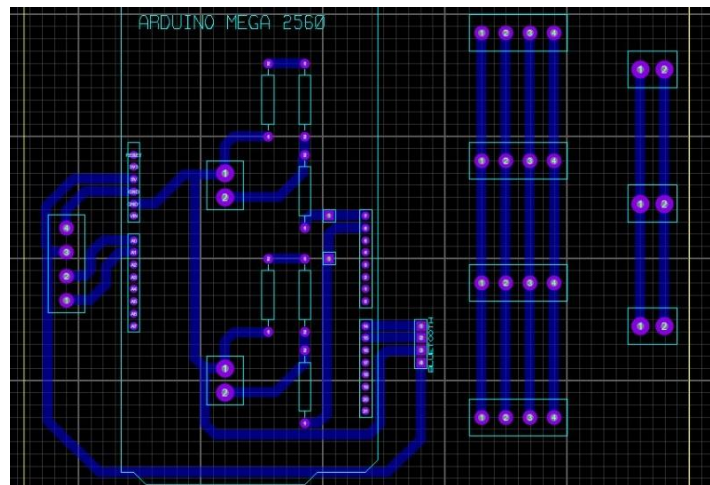
### **6.2.5. Creación del PBC para el control y automatización**

Para obtener precisión en el control y la disposición de los elementos electrónicos, se diseñan las placas donde se llevará a cabo el circuito de control y automatización para la silla de ruedas.

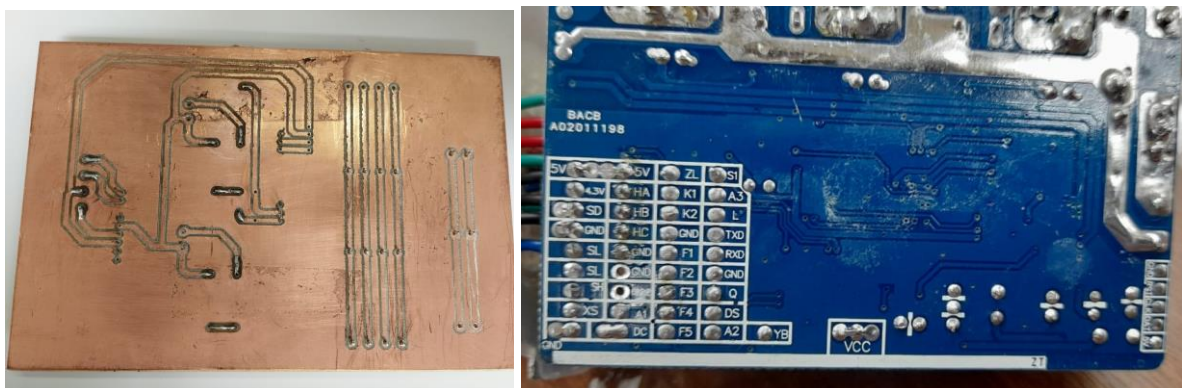
**Figura 51.**  
*Diagrama en Proteus del circuito de control.*



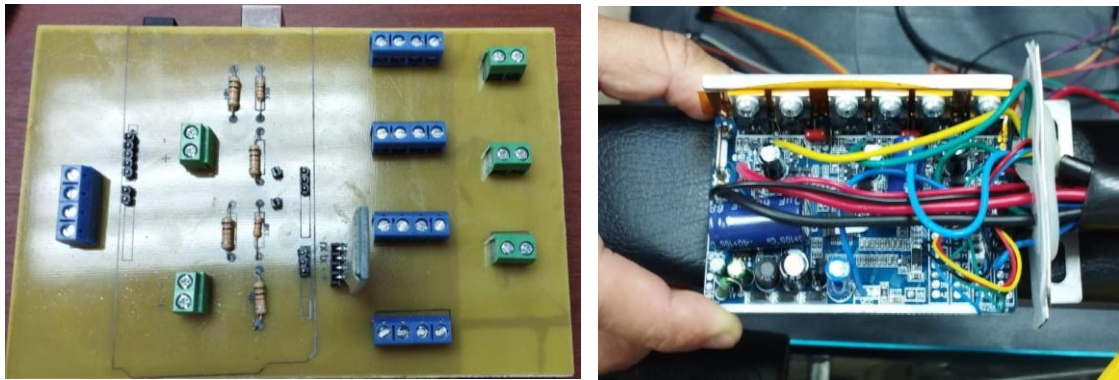
**Figura 52.**  
*Diagrama PCB para el control con el joystick*



**Figura 53.**  
*Circuito impreso y placa del controlador*



**Figura 54.**  
*Placas finales*

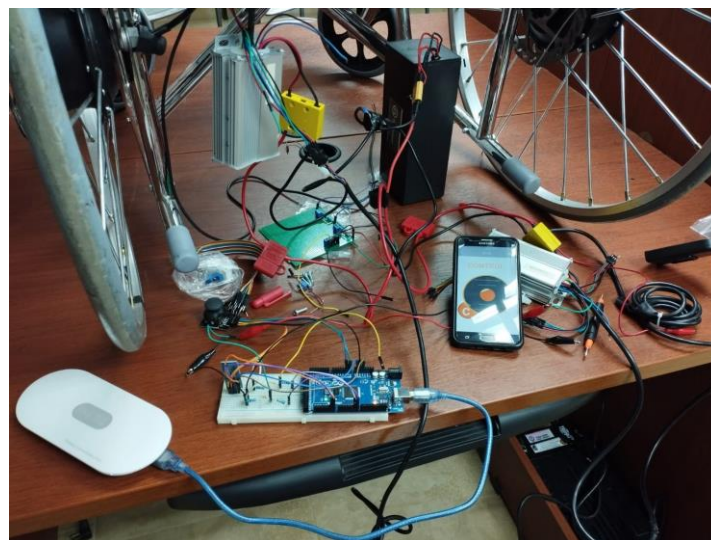


### **6.2.6. Ensamblaje de los circuitos y dispositivos de control**

Finalmente se realiza la inclusión de todos los elementos que componen el prototipo; se conecta el Joystick como entrada para determinar la acción establecida por el usuario. Se conectan las terminales de cada motor como entradas para monitorear el sentido de giro (de cada motor).

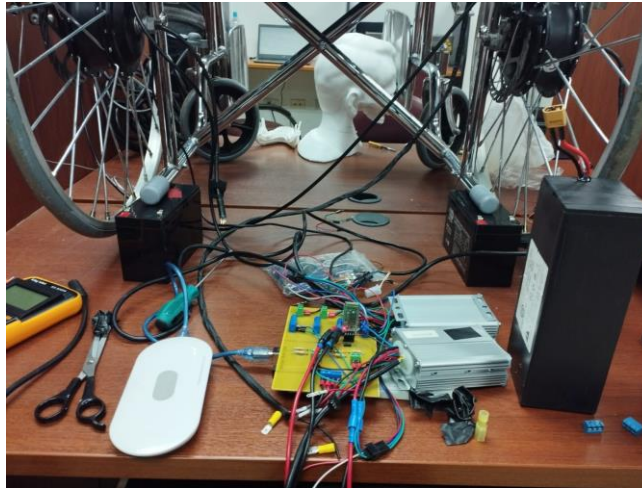
Con los circuitos impresos y los componentes ya instalados en las placas, se procedió al ensamblado de todos los módulos. El circuito realizado correspondiente al control remoto diseñado en protoboard se indica en la figura 55.

**Figura 55.**  
*Ensamble de todos los componentes del sistema en protoboard*



**Figura 56.**

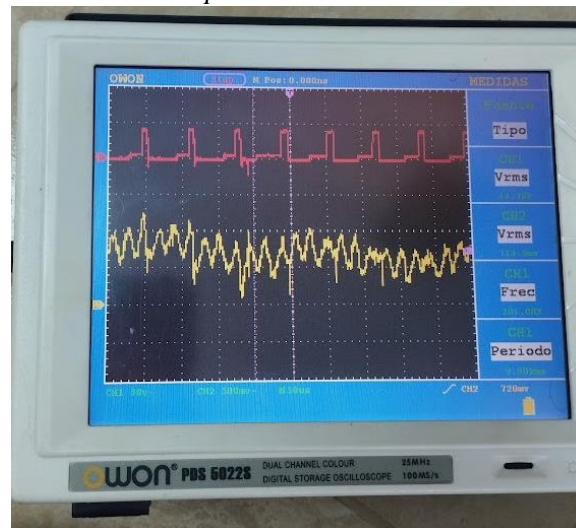
*Ensamble de los componentes del sistema en la placa impresa*



Una vez que se ensambla el sistema de control, se verifica el estado de los motores; es decir, estos motores son alimentados por pulsos de onda cuadrada, dichos pulsos deben estar sincronizados de modo que la corriente se descargue cuando el rotor está en la posición correcta. Básicamente funcionan como un motor trifásico común y corriente de AC, pero con ondas cuadradas; como se lo demuestra en la Figura 57.

**Figura 57.**

*Ondas de salida verificadas en el osciloscopio*



### **6.2.7. Diseño e impresión de estructuras**

Para garantizar la seguridad y la vida útil de la batería se diseña una carcasa que permitirá resguardar la misma y protegerla de golpes entre otros. Para ello se tomó en cuenta el tamaño de la misma y el espacio comprendido en la parte inferior derecha, como resultado se construyó una caja considerando los espacios para el cableado, la implementación de un interruptor y prensa estopas para las salidas del cableado de alimentación y para el cargador.



**Figura 58.**  
*Ensamble de la batería*



**Figura 59.**  
*Resultado final del ensamble de la batería*

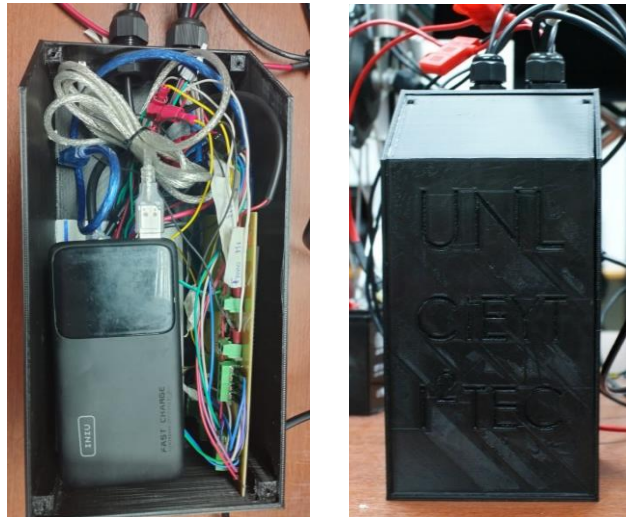


De la misma forma se construyó una caja para almacenar los circuitos eléctricos y electrónicos del sistema implementado. Dado que, uno de los propósitos de este prototipo es que pueda ser pegable, el diseño de esta caja tiene forma particular. Para esta caja también se consideran los espacios para el cableado, entrada de carga y prensa estopas para las salidas del cableado de la alimentación, así como para los diferentes cables que completan el circuito de control.

**Figura 60.**  
*Proceso de impresión de la caja de control*



**Figura 61.**  
*Ensamble y resultado final de la caja de control*



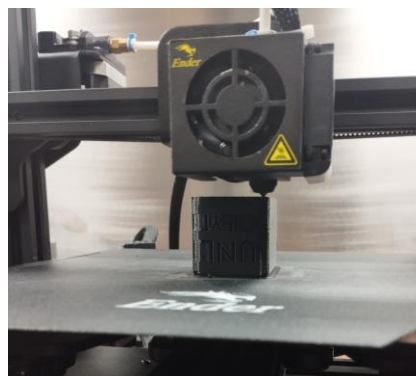
Una vez terminadas las cajas se procedió a colocarlas en la parte inferior a cada lateral de la estructura principal tal como se observa en la siguiente figura:

**Figura 62.**  
*Ubicación final de la caja de alimentación y de control.*



De modo idéntico, para el sistema de control se adapta el joystick a una base que se diseña con el fin de que sea cómodo y fácil de usar. Esta base al igual que las cajas de alimentación y de control se las realiza en impresión 3D.

**Figura 63.**  
*Proceso de impresión de la caja y base del joystick.*



**Figura 64.**  
*Ensamble del joystick.*



Además de ayudar a la comodidad del usuario, la base que se realiza sirve de soporte para colocar el joystick en la posición donde se va acoplar, tal como se observa en la Figura 64.

**Figura 65.**  
*Ensamble del joystick en el prototipo final.*



### **6.3. Pruebas de desempeño y validación del sistema**

La implementación del sistema mecánico y de control en la silla de ruedas permite que el usuario sea autónomo en su desplazamiento ya que no necesita de terceras personas para que lo muevan de un lugar a otro; o de utilizar la fuerza de sus brazos para mover las ruedas propulsoras lo que resultaba en agotamiento de sus extremidades. En definitiva, se implementó y adecuaron los componentes del sistema de control de movimiento en la silla ruedas.

**Figura 66.**  
*Prototipo final vista frontal.*



**Figura 67.**  
*Prototipo final vista posterior.*



Las pruebas de desempeño se realizaron con la batería cargada al 100% para obtener resultados más precisos, dichas pruebas se realizaron en diferentes ambientes y con diferentes usuarios, de manera repetitiva y progresiva para obtener la mejor respuesta del sistema implementado.

**Figura 68.**

*Prueba en cubierta de mortero mojado sujeto 1*



**Figura 69.**

*Prueba en gravilla sujeto 2.*



**Figura 70.**

*Prueba en cubierta de mortero seco sujeto 3.*



**Figura 71.**

*Prueba en baldosa sujeto 4.*



**Figura 72.**

*Prueba en calzada sujeto 5.*



Al finalizar con las pruebas de desempeño se realiza un análisis para calcular la velocidad del prototipo. Se considera el peso del prototipo y del usuario; que se estima un peso promedio del usuario de 65kg (110kg en total), dichas pruebas se realizaron en una superficie plana.

- Prueba de aceleración:

La velocidad se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$V_f = \frac{d}{t} \quad (12)$$

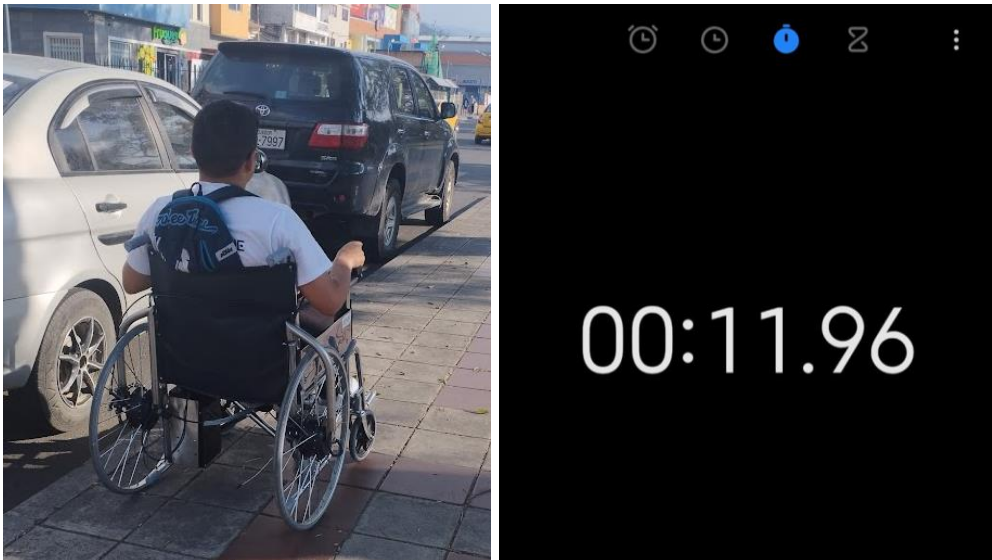
Donde:

$V_f$  = La velocidad final. (Km/h)

$d$  = la distancia en m.

$t$  = tiempo a recorrer en s.

Se considera una distancia de 12 m



**Tabla 17.**  
*Tiempos al recorrer 12 m de distancia*

# Prueba	Tiempo
1	11.80 s
2	11.84 s
3	11.96 s
4	11.96 s

5	11.99 s
---	---------

Por lo que:

$$V_f = \frac{d}{t}$$

$$V_f = \frac{12m}{11.96s}$$

$$V_f = 1.0033m/s$$

Transformando a km/h, se obtiene:

$$V_f = 3.61km/h$$

Se ha podido determinar que con un peso promedio del usuario de 65kg, el prototipo alcanza una velocidad de 3.61km/h aproximadamente. En la siguiente tabla, se detalla las velocidades en las que opera el prototipo según el peso del usuario:

**Tabla 18.**

*Velocidades de operación del prototipo según el peso del usuario.*

<b>Peso</b>	<b>Velocidad</b>	<b>Autonomía aproximada</b>
55kg	4,55km/h	4h 33min
65kg	3,61km/h	3h 48min
75kg	2,70kmh	2h 56min
85kg	1,83km/h	2h 29min

Además, otro factor importante a considerar es el tiempo de carga de la batería, que se calcula de la siguiente manera:

$$T_{carga} = \frac{\text{Capacidad de la batería (Ah)}}{\text{Capacidad del cargador (A)}} \quad (13)$$

$$T_{carga} = \frac{10 (Ah)}{3 (A)} = 3.33 h$$

Uno de los propósitos de este proyecto es de que la silla de ruedas eléctrica se plegable, ya que la mayoría de los productos que están en el mercado no permiten esta ventaja, por ello el sistema que se diseñó permite que el prototipo se pueda transportar, tal como se observa en la Figura 73.



**Figura 73.**  
*Transporte del prototipo final.*



### 6.3.1. Validación del sistema

Las pruebas de validación fueron realizadas con personas sin ninguna restricción de movilidad y con personas con discapacidad física, en diferentes ambientes y tipos de terreno.

**Figura 74.**  
*Pruebas en rampas para personas con discapacidad.*



**Figura 75.**  
*Validación con personas con discapacidad física.*



**Figura 76.**  
*Validación con niños*



**Figura 77.**  
*Validación del aplicativo móvil.*



**Figura 78.**  
*Validación con miembros del cuerpo de salud.*



#### **6.4. Costos para la construcción del prototipo**

Debido a que uno de los propósitos de este trabajo es que el usuario pueda acceder a dicho sistema de manera económica se consideró:

**Tabla 19.**  
*Costos del Sistema mecánico y de control*




<b>Tabla de costos</b>				
<b>Ítem</b>	<b>Concepto</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Precio total</b>
<b>MECÁNICO S</b>	Estructura	1	250.00	250.00
	Silla de ruedas	1	150.00	150.00
	Sistema de freno	1	45.00	45.00
	Sistema de sujeción y acople	1	5.00	5.00
	Diseño e impresión 3D	1	23.00	23.00
			<b>Subtotal</b>	<b>473.00</b>
<b>ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS</b>	Arduino MEGA2560	1	25.00	25.00
	Joystick	1	1.00	1.00
	Módulo bluetooth HC-06	1	10.00	10.00
	Kit de Motores	2	199.00	398.00
	Batería y cargador	1	169.00	169.00
	Accesorios electrónicos y de control	1	10.00	10.00
			<b>Subtotal</b>	<b>613.00</b>
<b>GASTOS VARIOS</b>	Transporte, envíos, mano de obra, impuestos, entre otros	1	285.00	285.00
			<b>Subtotal</b>	<b>285.00</b>
			<b>VALOR COSTO TOTAL</b>	<b>\$1,371.00</b>

Lo que generó algo más de gestión, fueron las compras realizadas fuera de Ecuador, correspondientes a los motores y a las baterías. La compra de los motores y de la batería se realizó en Estados Unidos. El presupuesto mostrado es una estimación del coste real de fabricación del sistema a implementar en la silla de ruedas. Este presupuesto puede variar según el precio al que se compren los elementos principales, tal como, los motores y la batería, ya que existe la posibilidad de que por temporadas los mismo suban o bajen de precio; eso en el caso de que ocupen los expuestos anteriormente; de no ser así, el precio variará de acuerdo a la potencia que se aplique entre otros.

#### **6.4.1. Comparación con las sillas de ruedas existentes en el mercado.**

Es de vital importancia conocer el costo y las características de las sillas de ruedas eléctricas que se encuentran en el mercado ya que uno de los propósitos del proyecto es obtener un prototipo que sea de bajo costo. A continuación, se describen diversos modelos que existen en el mercado:

**Tabla 20.***Comparación de silla de ruedas eléctricas existentes en el mercado.*

Tipo	Características	Gráfico	Costo
<b>Silla de ruedas con motor auxiliar</b>	Peso máximo: 100kg Potencia motor: 300W/ 12 V Velocidad: máx 5.5 km/h Autonomía: 15 km Baterías: 12V/20Ah		\$1549,28
<b>Silla de ruedas eléctrica brazos desmontables</b>	Peso máximo: 150kg Potencia motor: 2*250W Velocidad: hasta 6km/h Batería: plomo-ácido 12A Autonomía: >15 km		\$1800.00
<b>Silla de ruedas eléctrica marca everest modelo MJ</b>	Peso máximo: 150kg Velocidad: 6 km/h Potencia motor: duales de 250W Tiempo de carga: 6 – 8h Batería: 24V/12Ah Autonomía: >15 km		\$1950.00

---

<b>Silla de ruedas F40</b>	Peso máximo: 110 kg Potencia motor: 2 motores de 200W Batería: de gel 50 Ah Velocidad: 6km/h Pendiente: hasta 10° Autonomía: 20km		\$2303.00
----------------------------	--	--	-----------

<b>Silla de ruedas eléctrica tipo scooter</b>	Peso máximo: 136kg Potencia motor: 420W Batería: 12/36Ah*2 Velocidad: máx. 6,7km/h Autonomía: máx. 24 km		\$2750.00
---	--	---	-----------


<b>INVACARE Action 3 con Sistema Alber Emotion M-15 silla de ruedas en aluminio</b>	Peso máximo: 130kg Potencia motor: 2*80W Velocidad: máx 6km/h Batería: 2*6Ah Autonomía: máx. 25km		\$4410.00
---	---	--	-----------

---

Comparando con los costos de las sillas de ruedas eléctricas que ya existen en el mercado, el prototipo que se diseñó e implementó esta por debajo de dichos costos con un precio de \$1 371 ofreciendo las mismas prestaciones; y cumple con las siguientes características:

**Tabla 21.**

*Características del prototipo realizado.*

<b>Características</b>	<b>Gráfico</b>	<b>Costo</b>
<p>Prototipo de silla de ruedas eléctrica</p> <p>Peso máximo: apróx. 90 kg Potencia motor: 250W Velocidad: máx 5km/h Batería: 10Ah Autonomía: máx. 12km Pendiente : 4 a 6 grados Carga: aprox. 3h</p>		<p>\$1371.00</p>

## 7. Discusión

El presente trabajo de titulación se desarrolló para mejorar la calidad de vida de las personas que padecen una discapacidad física brindándoles una herramienta de movilización, fácil de manejar, segura y autónoma. El sistema electrónico que se implementó permite dos tipos de funcionamiento, por control manual e inalámbrico. En la parte de control manual se utiliza un joystick que, al activarlo la señal que se genera ingresa a la placa de Arduino MEGA2560 internamente y relaciona esa señal con el movimiento de la silla, ejecutando la acción relacionada con dicho comando, pudiendo ser este adelante, izquierda o derecha; mientras que, para el control inalámbrico se utilizó un módulo HC-06, que permite la conexión entre el dispositivo móvil y la placa, y mediante la aplicación móvil desarrollada ejecutar los movimientos antes mencionados.

Para mejorar la autonomía del motor, se utilizó una batería Ion-Litio, porque estas llevan una alta densidad energética, un mejor desempeño, menor tamaño y peso, en comparación con las de Plomo, y además no son contaminantes. De la misma forma, las mediciones realizadas, indican que el prototipo alcanza una velocidad promedio y una autonomía considerable; que va alrededor 4,54km/h con una autonomía de 5 horas, mismos valores que tendrán ciertas variaciones que dependerán del peso del usuario, del ambiente y tipo de terreno donde se lo esté utilizando. Cabe destacar que en el diseño realizado por Javier et al., (2021) a pesar de que su velocidad alcanza los 10km/h, su autonomía será aproximadamente de 2 horas.

Otro aspecto a tener en cuenta, y aún más siendo uno de los objetivos principales de este proyecto, es el bajo costo que tiene el prototipo creado que oscila entre los \$1.300 dólares, en comparación a algunos modelos existentes en el mercado que tienen un costo superior a los \$2.000 dólares. Estos resultados son similares a los obtenidos por Bryan Veloz & Edison Quinatoa, (2019) con su sistema propulsor anclable que tiene un costo aproximado de fabricación de \$1.600 dólares.

En definitiva, el objetivo principal de este proyecto era diseñar e implementar un mecanismo que permita automatizar una silla de ruedas manual; mismo que, se verificó y validó mediante pruebas realizadas con personas con discapacidad física; el cual pudo reducir el esfuerzo de desplazamiento del usuario ; así mismo, el sistema de operación fue capaz de brindar autonomía, comodidad y estabilidad al usurario; además de, que tiene un mayor beneficio en relación de costos y que se lo puede transportar.



## 8. Conclusiones

- En este trabajo de titulación se diseñó e implementó un prototipo de silla de ruedas eléctrica cuyo sistema mecánico se integró en una silla de ruedas manual, cumpliendo con las características básicas y necesarias para la autonomía de las personas con discapacidad física, brindando comodidad, seguridad, y fácil manejo en espacios interiores.
- El sistema de control y manejo se lo realiza por medio de una palanca de mando y por control inalámbrico, es decir, que permite maniobrar el prototipo de silla de ruedas con cualquier dispositivo móvil que tenga instalado el aplicativo móvil que se diseñó.
- Las pruebas realizadas de arranque, desplazamiento, giros y frenado del prototipo fueron desarrolladas de manera repetitiva y progresiva para obtener la mejor respuesta del sistema implementado.
- Las pruebas técnicas, en su mayoría, fueron llevadas a cabo en espacios interiores, donde se presenta el mayor índice de uso de la silla eléctrica (tales como hospitales y centros de salud, para el transporte de pacientes). Recíprocamente, el uso en espacios exteriores es posible, dado el diseño de su arquitectura, permitiendo un funcionamiento continuo independientemente del estado del clima.
- Se realizó una proyección de los costos del prototipo logrando disminuir considerablemente los costos de la silla de ruedas eléctricas en comparación a la existentes en el mercado, cumpliendo con las especificaciones técnicas necesarias.
- Mediante el análisis bibliográfico se logró identificar y establecer los factores necesarios para el desarrollo y creación de un prototipo de silla de ruedas eléctrica que sea accesible, cómodo, seguro e innovador; demostrando los beneficios de implementar este tipo de sistemas mecatrónicos para las personas con discapacidad física que necesitan de algún tipo de asistencia externa para movilizarse y que no cuentan con los recursos suficientes para la adquisición de la misma.
- Dado que el prototipo es de bajo costo los elementos que componen el sistema de control y automatización son accesibles y asequibles en cualquier mercado tanto local como nacional.

## 9. Recomendaciones

- Es aconsejable realizar un recorrido de prueba que será útil para que el usuario se familiarice con el manejo del prototipo y se adapte al nuevo mecanismo implementado; además de leer previamente el manual de uso.
- Se recomienda siempre tener cargada la batería, esto se puede realizar con una carga diaria a fin de evitar accidentes y preservar por más tiempo la funcionalidad que estas prestan al prototipo de silla de ruedas eléctrica.
- Para una segunda versión se recomienda aumentar las opciones del aplicativo móvil con la finalidad de monitorear todos los aspectos del prototipo, como, por ejemplo: el consumo de corriente, distancia recorrida, estado de la batería, cambio de velocidades y las direcciones que puede tomar.
- Para futuros prototipos se recomienda la implementación de un mecanismo capaz de superar obstáculos tales como, veredas o escalones, además de un sistema de reversa, con el fin de cubrir todas las necesidades de las personas con discapacidad beneficiarias del producto.
- Se recomienda colocar un sistema de frenado de emergencia para detener la marcha del prototipo mismo que debe estar al alcance del usuario.
- Para una mejor preservación de la vida útil de la batería del mecanismo, es recomendable apagar el sistema cuando no se encuentra en uso por parte del usuario beneficiario.

## 10. Referencias Bibliográficas

- Aids, M. (2021). *Ayudas para la movilidad: MedlinePlus*.  
<https://medlineplus.gov/mobilityaids.html>
- Bryan Veloz, & Edison Quinatoa. (2019). Diseño y construcción de un sistema de propulsión anclable a una silla de ruedas para traslado autónomo de personas parapléjicas en zonas urbanas. *ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO*.
- Anlas, G. B. (2017). *Diseño mecatrónico y simulación de una silla de ruedas multifuncional para niños entre 6 a 12 años*. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/8437>
- Arduino.cc. (2021a). *Arduino Mega 2560 Rev3 — Tienda Arduino Online*. <https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3>
- Arduino.cc. (2021b). *¿Qué es Arduino? | arduino*.  
<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>
- Armando Donado. (2021, diciembre 30). *Tipos de baterías de los autos eléctricos*.  
<https://autosoporte.com/tipos-de-baterias-de-los-autos-electricos/>
- Carlos Solé. (2022, febrero 10). *¿Baterías de litio o baterías de plomo ácido?* Product Manager En Toyota Material Handling España. <https://blog.toyota-forklifts.es/baterias-litio-o-baterias-plomo-acido>
- Centro Nacional de Defectos Congénitos y Discapacidades del Desarrollo de los CDC. (2020). *Estrategias de inclusión | Las discapacidades y la salud | NCBDDD | CDC*.  
<https://www.cdc.gov/ncbddd/spanish/disabilityandhealth/disability-strategies.html>
- CEUPE. (2017). *¿Qué son los dispositivos móviles? Ceupe.Com*.  
<http://www.miportal.edu.sv/dispositivos-moviles/>
- Chris McGrady. (2017, enero 18). *Brushless vs Brushed Motor: Best DC Motor for Your Project |*. <https://www.arrow.com/es-mx/research-and-events/articles/which-dc-motor-is-best-for-your-application>
- CONADIS. (2017). *Agenda Nacional para la igualdad en Discapacidades. 2013-2017*.
- CONADIS. (2022). *Estadísticas de Discapacidad*.  
<https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadisticas-de-discapacidad/>
- Ejecutivo, R. (2021). *Inclusión de las personas con discapacidad en América Latina y el Caribe: Un camino hacia el desarrollo sostenible Resumen Ejecutivo*.
- Engineering ToolBox. (2004). *Friction - Friction Coefficients and Calculator*.  
[https://www.engineeringtoolbox.com/friction-coefficients-d\\_778.html](https://www.engineeringtoolbox.com/friction-coefficients-d_778.html)
- Garcés, D. M. (2021). *SISTEMA DE CONTROL DE MOVIMIENTO EN SILLA BIPEDESTADORA PARA EL CENTRO DE REHABILITACIÓN FÍSICA Y NEUROLÓGICA BENDICIONES DE LA CIUDAD DE AMBATO*.
- INEC-Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2021). *Ecuador - Población 2020 | datosmacro.com*. <https://datosmacro.expansion.com/demografia/poblacion/ecuador>

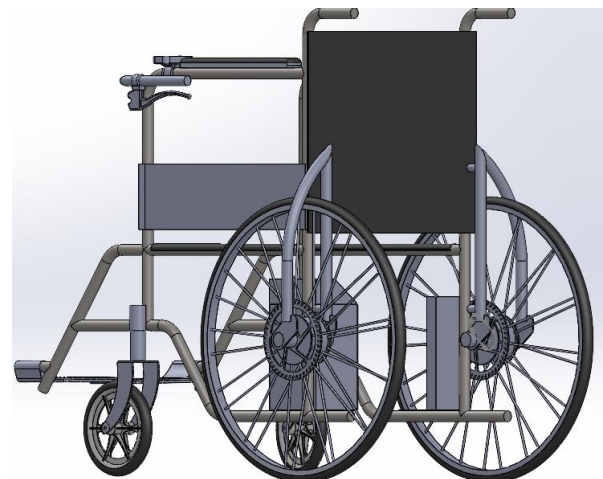
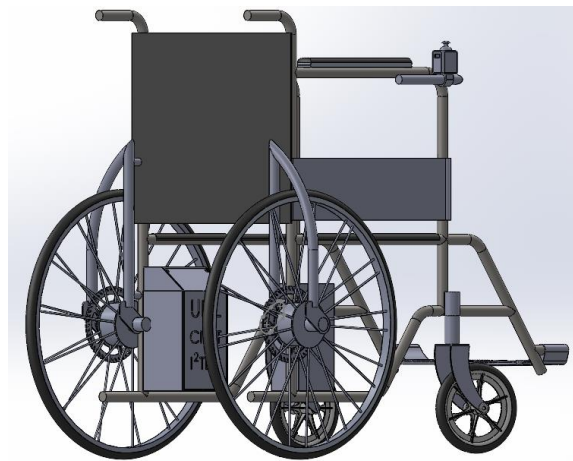
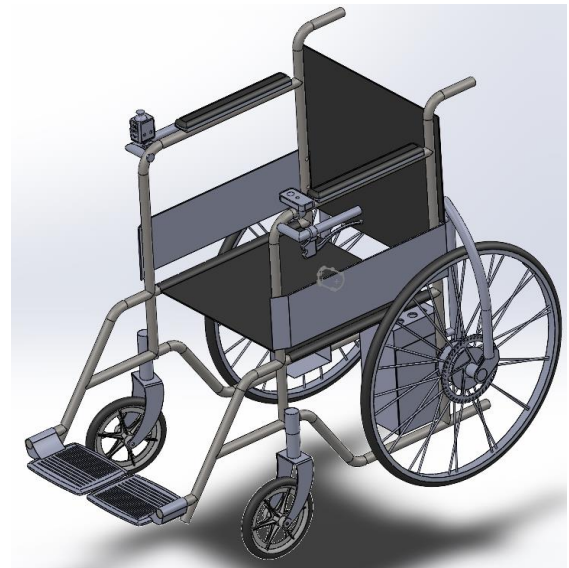
- Javier, Á., Herrera, R., Ferney, C., & Calderón, P. (2021). *Desarrollo de un prototipo Handbike electromecánico acoplable para silla de ruedas convencionales*.
- MCB. (2022, septiembre 22). *Clasificaciones comunes de motores eléctricos* .  
<https://www.mcb.com.mx/clasificaciones-comunes-de-motores-electricos/>
- MOTOREX. (2020, agosto 31). *Motores eléctricos de Corriente Continua y Corriente Alterna: Diferencias*. <https://www.motorex.com.pe/blog/cual-es-la-diferencia-entre-los-motores-electricos-ca-y-cc/>
- Muñoz, D. M. C., & Idrovo, E. V. M. (2018). “*DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA SILLA DE RUEDAS ELÉCTRICA PLEGABLE PARA UNA PERSONA CON PROBLEMAS DE MOVILIDAD*”.
- Naval, U. (2004). Metodología de la Investigación. *McGraw-Hill Interamericana*, 533.
- Naylamp Mechatronics. (2021). Módulo Bluetooth HC05. *Naylamp Mechatronics Web Site*, 1-7. <https://naylampmechatronics.com/inalambrico/43-modulo-bluetooth-hc05.html>
- Olivo Arroyo, M. M., & Gallegos Díaz, E. G. (2018). *Diseño e implementación de un sistema de control electrónico de una silla de ruedas eléctrica con ubicación gps y mando local o remoto a través de una aplicación celular (android), para personas con discapacidad motriz reducida en miembros inferiores*. 117.
- Organización Mundial de la Salud. (2001). *Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud*.
- Oscar, C. M. (2017). *Tipos de discapacidad física (y características)*. Enero.  
<https://psicologiaymente.com/salud/tipos-de-discapacidad-fisica>
- PNUD. (2022). *Objetivos de Desarrollo Sostenible | Programa De Las Naciones Unidas Para El Desarrollo*. <https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals>
- RemoteXY. (2019). *How it works*. <https://remotexy.com/en/help/>
- Ruth Mujica. (2022, febrero 9). *TIPOS DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA*. Blog Docentes 2.0 . <https://blog.docentes20.com/2022/02/%E2%9C%8D-tipos-de-comunicacion-inalambrica-docentes-2-0/>
- Salazar, J. (2017). *REDES INALÁMBRICAS*. <http://www.techpedia.eu>
- Salud, O. P. de la. (2018). *Discapacidad - OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud*. <https://www.paho.org/es/temas/discapacidad>
- TECNUM. (2020). *Sillas de ruedas eléctricas*. <http://www.tecnum.net/electricas.htm>
- Terán, I. (2022). *PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL*.  
[www.loja.gob.ec](http://www.loja.gob.ec)
- Torres Perez, Y., Henry Isidro Morantes Pinto, & Carlos Alberto Leon Medina. (2020). «*Cálculo de potencia para motores de una silla de ruedas eléctrica para la comunidad infantil en condición de discapacidad de Tunja*».  
[http://somim.org.mx/memorias/memorias2020/articulos/A1\\_138.pdf](http://somim.org.mx/memorias/memorias2020/articulos/A1_138.pdf)

- Torse de Almeida, I. A. (2017). *Utilizando o software GCompris na aprendizagem matemática com alunos com deficiência intelectual.*
- Valencia, S. F., Sanchez, E., Morales, P., López, Y. B., Contreras, O. M., Darce, S. L., Mendoza, F. G., Martinez, W., Carrasco, J. M., Rodriguez, I., & Gómez, M. F. (2019). *INFORME REGIONAL INFORME REGIONAL AMÉRICA LATINA AMÉRICA LATINA SOBRE LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE EN.*
- Vásquez, L. F. B. (2017). Sistema de control para la movilidad y extensión de una silla de ruedas Eléctrica de bipedestación. *Occupational Medicine*, 53(4), 130.
- Villanueva Dávila, J. E. (2018). *Aplicación de un sistema de control por voz para reducir el esfuerzo del desplazamiento en silla de ruedas de personas con discapacidad en la localidad de San Pablo. Tesis para optar el título profesional de Licenciado en Administración.*  
<http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/3024/ADMINISTRACION - Pamela Jhosymar Valles Vásquez %26 Martha Ruth Guerra Pinedo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

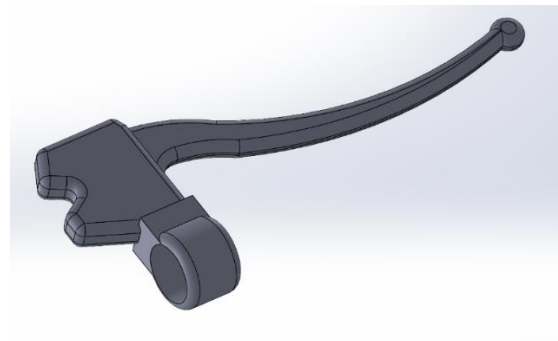
## 11. Anexos

**Anexo 1:** Diseños 3D de cada elemento que compone el prototipo.

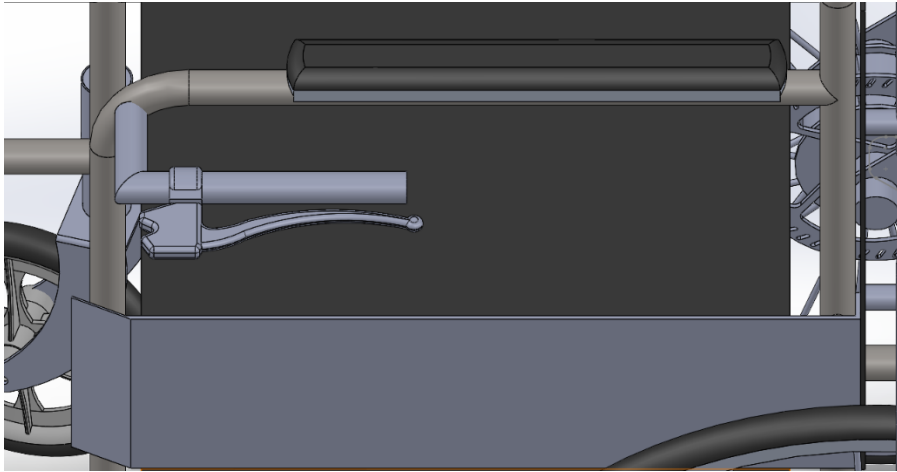
### 1.1 Prototipo final



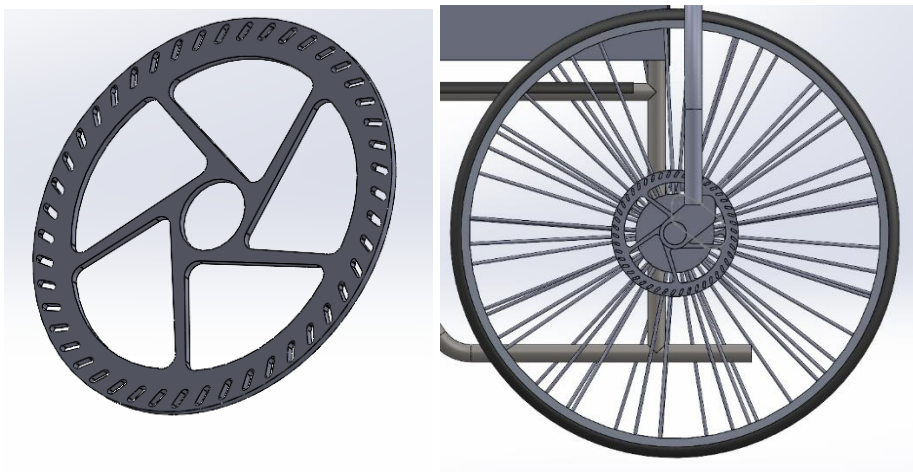
### 1.2 Sistema de freno



**Base y palanca de freno**



**Ubicación Final de la palanca de freno**

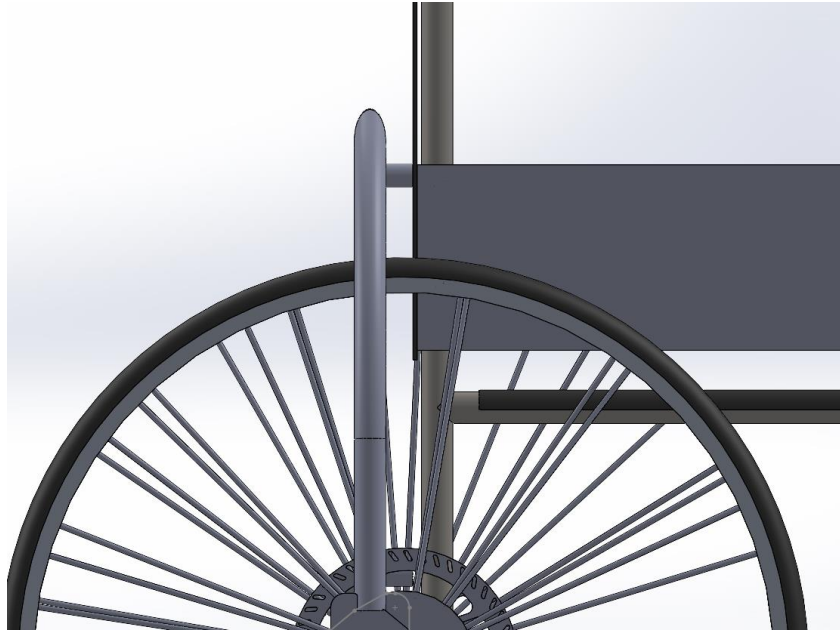


**Mecanismo de freno y ubicación en el prototipo**

### **1.3 Estructura adicional para colocar el sistema mecánico**



**Soportes traseros**



**Ubicación de los soportes en el prototipo**

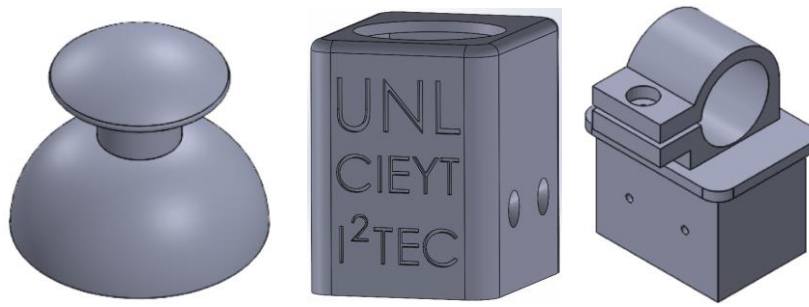
#### **1.4 Rueda acoplada con el motor**



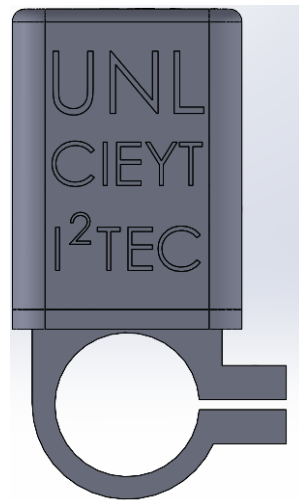
**. a) Rueda existente en la silla de ruedas manual b) Rueda modificada para el prototipo**



### 1.5 Carcasa para el sistema de alimentación

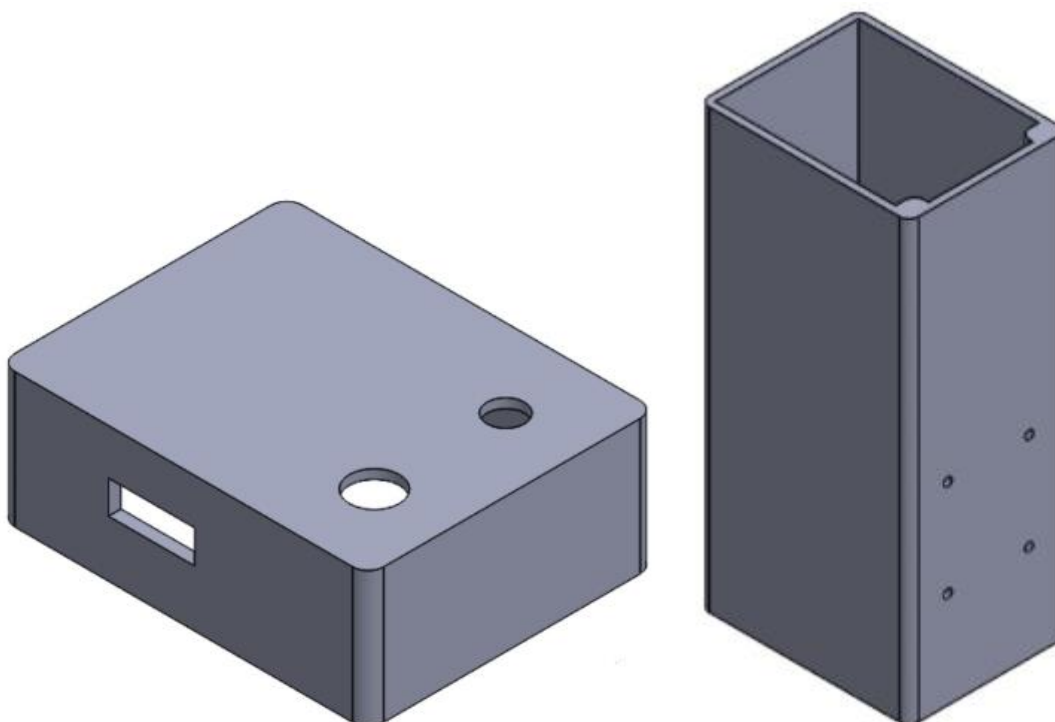


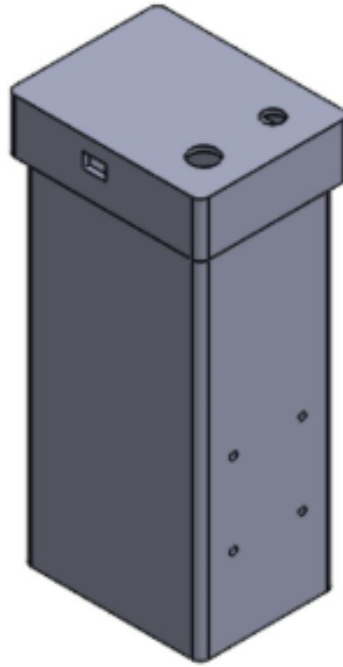
Partes del control de mando



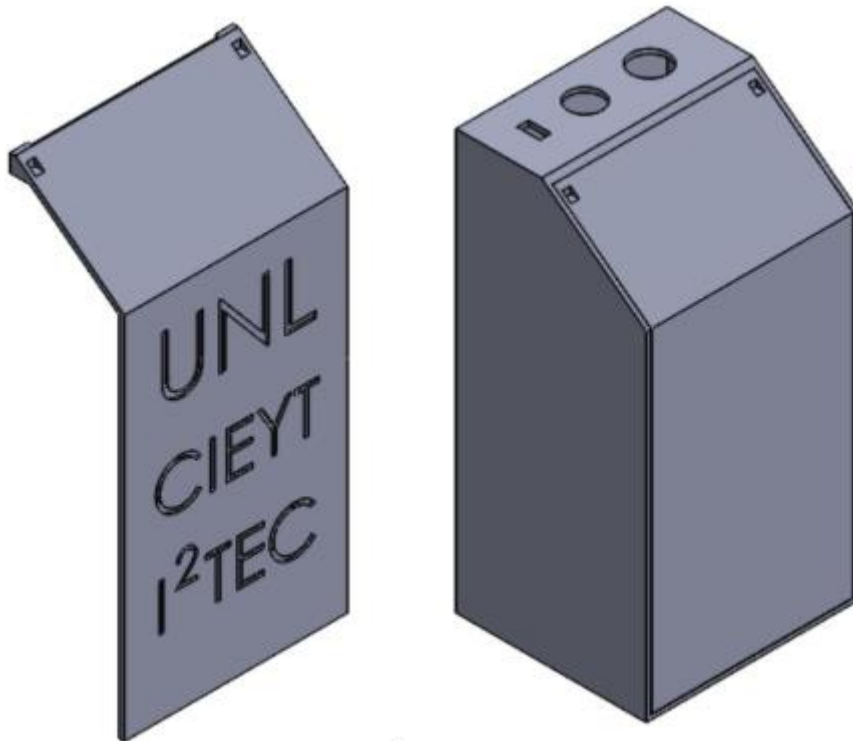
Estructura final de la palanca de mando

### 1.6 Carcasa para el sistema de alimentación





**1.7 Carcasa para el sistema de control**



|

**Anexo 2:** Manual de usuario de la silla de ruedas eléctrica

## **Manual de usuario**

# **SILLA DE RUEDAS ELÉCTRICA**



**Autor:**

Xiomara Anahí Cabrera Ordóñez

**Estudiante CIEYT**

**Loja 2022**

## Tabla de contenido

<b>1. Introducción</b> .....	89
<b>1.1. Sobre este manual de usuario</b> .....	89
<b>1.2. Aplicación conforme a lo prescrito</b> .....	89
<b>2. Seguridad</b> .....	89
<b>2.1. Indicaciones generales de seguridad</b> .....	89
<b>2.2. Indicaciones para la conservación, mantenimiento y eliminación del material</b> .....	90
<b>2.3. Instrucciones para el usuario</b> .....	90
<b>3. Datos técnicos</b> .....	92
<b>4. Descripción del producto</b> .....	93
<b>5. Estructura y funcionamiento</b> .....	94
<b>5.1. Palanca de mando o joystick</b> .....	94
<b>5.2. Batería</b> .....	94
<b>5.3. Caja de control</b> .....	95
<b>5.4. Frenos de estacionamiento</b> .....	96
<b>5.5. Frenos mecánicos</b> .....	96
<b>6. Conducción del prototipo</b> .....	98
<b>6.1. Indicaciones de seguridad</b> .....	98
<b>6.2. Frenado durante la marcha</b> .....	98
<b>6.3. Entrar o salir del prototipo de silla de ruedas eléctrica</b> .....	98
<b>6.4. Manejo de la silla de ruedas eléctrica</b> .....	98
<b>Manejo por la palanca de mando</b> .....	98
<b>Manejo por la aplicación móvil</b> .....	99
<b>7. Transporte y almacenamiento</b> .....	103
<b>7.1. Indicaciones de seguridad</b> .....	103
<b>7.2. Indicaciones de transporte en un vehículo</b> .....	103
<b>8. Mantenimiento y conservación</b> .....	104

## **1. Introducción**

### **1.1. Sobre este manual de usuario**

Este manual proporciona al usuario y a sus acompañantes todas las instrucciones necesarias sobre el montaje, las funciones, el manejo y el mantenimiento del prototipo de la silla de ruedas eléctrica. Este manual de usuario proporciona la información necesaria para el empleo seguro de la silla de ruedas eléctrica. En caso de que suceda alguna avería, en este manual también se pueden hallar indicaciones sobre las posibles causas y solución.

La información de este manual es imprescindible para la utilización segura del prototipo de la silla de ruedas eléctrica. Por lo tanto, antes de utilizar la silla de ruedas se recomienda leer detenidamente estas instrucciones, sobre todo el apartado de “Seguridad”. De esta manera queda asegurado el rendimiento completo del prototipo de silla de ruedas eléctrica.

### **1.2. Aplicación conforme a lo prescrito**

El prototipo de silla de ruedas sirve exclusivamente para el uso individual de personas con movilidad nula o reducida en espacios interiores. Cualquier utilización que exceda los límites se considerara inadecuada y causaría daños en el dispositivo.

#### **Vida útil**


Se estima que este prototipo sin modificaciones tenga una vida útil de 5 años. Es difícil establecer una duración exacta o vida útil pero su promedio es aproximado basado en uso normal. La vida útil puede prolongarse considerablemente si se utiliza el prototipo de forma limitada, con un debido uso y si se realiza un correcto mantenimiento y manejo. La vida útil se reducirá si se somete a un uso extremo.


## **2. Seguridad**


### **2.1. Indicaciones generales de seguridad**


- Este prototipo debe utilizarse para el fin al que está destinada.
- Solo está permitido el transporte de una persona
- El manual de usuario debe estar siempre al alcance del ocupante en todo momento.
- Con el prototipo de silla de ruedas eléctrica no debe circularse por escaleras

- El desbloqueo del freno puede provocar que la silla de ruedas eléctrica se desplace de manera desenfundada.

	<p><b>¡ADVERTENCIA! Peligro por modo de conducción inadecuado.</b></p> <p>Sobre superficies mojadas, suelos con grava y en terrenos irregulares existe peligro de resbalar.</p>
---	---

	<p><b>¡ADVERTENCIA! Peligro de lesiones</b></p> <p>En caso de colisión puede sufrir heridas en partes del cuerpo que sobresalen de la silla de ruedas (manos o pies)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Evite la colisión sin freno</li> <li>• Nunca conduzca en dirección frontal hacia un objeto</li> <li>• Conduzca con cuidado en espacios estrechos.</li> </ul>
---	--

	<p><b>¡PRECAUCIÓN! Peligro de quemaduras</b></p> <p>Los componentes del prototipo pueden calentarse si se exponen a una fuerte radiación solar o a cualquier toxico inflamable</p>
---	--

	<p><b>¡ADVERTENCIA! Peligro por modo de conducción inadecuado.</b></p> <p>Sobre superficies mojadas, suelos con grava y en terrenos irregulares existe peligro de resbalar.</p>
---	---


## 2.2. Indicaciones para la conservación, mantenimiento y eliminación del material.

- Desconectar la batería cuando se lleven a cabo tareas de mantenimiento.
- La limpieza del prototipo nunca debe realizarse con una manguera o similar.
- Siempre debe evitarse el contacto directo del agua con el sistema electrónico, el motor y la batería

## 2.3. Instrucciones para el usuario

- El usuario debe recibir las instrucciones sobre el manejo del prototipo de la silla de ruedas eléctrica que se genera en este manual.

- El usuario debe haber leído y comprendido el manual de instrucciones
- El manejo de la silla no está permitido en caso de fatiga, o ingesta de bebidas alcohólicas o de algún medicamento.
- El usuario no debe tener limitaciones mentales que reduzcan su atención o capacidad de juicio a corto o largo plazo.
- Antes de usar por primera el prototipo, se debe practicar el manejo del mismo en un terreno llano y que se pueda controlar. De esta manera se evita las caídas o situaciones de riesgo.
- Se recomienda al usuario que lleve ropa clara o con reflectores en el caso que se utilice el prototipo en la oscuridad.

	<p><b>¡ADVERTENCIA! Peligro de accidente.</b></p> <p>Unos dispositivos de seguridad (frenos, dispositivos antivuelco) incorrectamente ajustados o que no funcionen pueden provocar accidentes.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Antes de cada uso de la silla de ruedas, compruebe el funcionamiento de los dispositivos de seguridad y encargue su control periódicamente a un distribuidor especializado.</li> </ul>
--	--

### 3. Datos técnicos

<b>MEDIDAS Y PESOS</b>	
Anchura del asiento	51 cm
Profundidad del asiento	40 cm
Altura del asiento	46 cm
Altura de los reposabrazos	76 cm
Longitud de los reposabrazos	34 cm
Altura del respaldo	43 cm
Longitud total	89 cm
Peso en vacío	35 kg
Carga máx.	100 kg
Tamaño de ruedas Rueda guía	Delantera: 20 cm Trasera: 59 cm

<b>EQUIPO ELÉCTRICO</b>	
Batería	36V 10Ah
Mando	5v
Cargador	42V 3A

<b>DATOS DE MARCHA</b>	
Velocidad	9.65 m/s
Autonomía	1h 44min
Temperatura de funcionamiento	5 – 40 C



#### **4. Descripción del producto**

El prototipo de silla de ruedas eléctrica puede utilizarse en espacios interiores. Tiene un diseño compacto y es de fácil uso en espacios interiores. El sistema de accionamiento se alimenta de una batería de iones de litio de 36 V, permite un buen movimiento y ofrece unas cualidades de marcha seguras.

En el caso del mando se trata de un joystick que realiza los comandos de desplazamiento, un freno electro-mecánico que corta la energía de los motores y a su vez los frena.

La programabilidad permite adoptar el control a las necesidades específicas del usuario. Las características especiales de este prototipo de silla de ruedas eléctrica son:

- Fácil mantenimiento
- Es adaptable

Este prototipo es destinado para las personas con incapacidad o dificultad para caminar debido a:

- Parálisis
- Pérdida de extremidades (amputaciones de piernas)
- Defecto o deformación de los miembros inferiores
- Contracturas o daños en las articulaciones
- Otras enfermedades

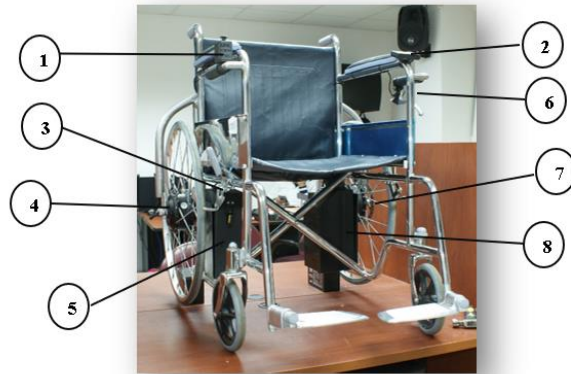
Este prototipo de sillas de ruedas eléctrica es concebido especialmente para que los usuarios puedan desplazarse de forma autónoma.

Para el mantenimiento individual también debe tenerse en cuenta:

- Tamaño corporal y peso
- Estado físico y psíquico
- Edad del paciente
- Medio ambiente

## 5. Estructura y funcionamiento

1	Palanca de mando o joystick
2	Switch
3	Freno de estacionamiento
4	Motor
5	Batería
6	Freno
7	Discos y mordazas
8	Caja de control



### 5.1. Palanca de mando o joystick

Proporcionará la dirección para que la caja de control pueda ejecutar el movimiento.

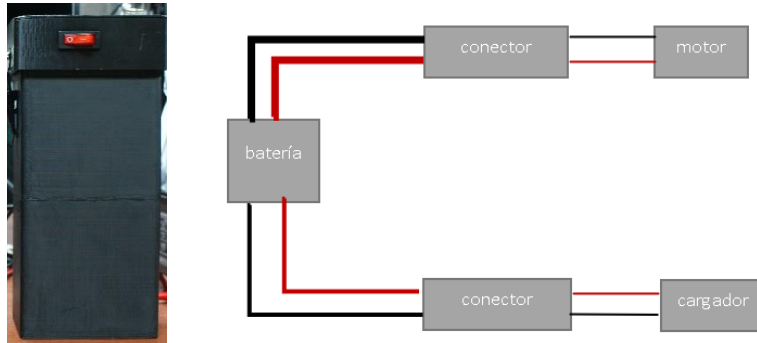


### 5.2. Batería

Es la fuente de energía que proporcionara al sistema. Para su instalación la batería se basa de la siguiente forma. La batería tiene cuatro cables:

- Un cable rojo y negro gruesos y,
- Un cable rojo y negro delgados

Los cables gruesos se usan para descargar mientras, que los cables delgados se usan para cargar. Por lo tanto, los cables gruesos deben conectarse a la interfaz de ánodo y cátodo del sistema de control, mientras que los cables delgados deben conectarse al conector del cargador.




	<p><b>¡ADVERTENCIA! Para evitar fugas de la batería.</b></p> <p>Utilice la batería correctamente de acuerdo con las siguientes reglas.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Manipule con cuidado para evitar vibraciones violentas.</li> <li>• No sumerja la batería en agua u otros líquidos y preste atención a la humedad.</li> <li>• Evite cortocircuitos entre los terminales positivo y negativo de la batería.</li> <li>• No desmonte la batería. Desmontar la batería puede provocar un cortocircuito interno, provocando la descomposición de los materiales internos, incendios, explosiones, etc. Además, desmontar la batería puede provocar una fuga de electrolito. Si el electrolito salpica a la piel, los ojos u otras partes del cuerpo, enjuague inmediatamente con agua y consulte a un médico.</li> </ul>
--	--

### 5.3. Caja de control


Dentro de esta caja se encuentra todo el sistema eléctrico y electrónico, que comprende esta silla de ruedas.

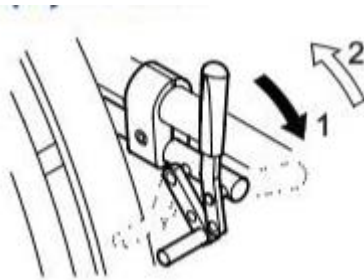


	<p><b>¡ADVERTENCIA! Para evitar daños en la caja de control.</b></p> <p>Utilice la caja de control correctamente de acuerdo con las siguientes reglas.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Manipule con cuidado para evitar vibraciones violentas.</li> <li>• No sumerja la caja de control en agua u otros líquidos y preste atención a la humedad.</li> <li>• Evite cortocircuitos entre los terminales</li> <li>• No desmonte la caja de control. Desmontar la batería puede provocar un cortocircuito interno, provocando la descomposición de los materiales internos, incendios, explosiones, etc. En el caso de ser necesario acudir a un técnico.</li> </ul>
---	---

#### 5.4. Frenos de estacionamiento

Los frenos de estacionamiento o manuales sirven exclusivamente para fijar la silla de ruedas eléctrica en un lugar y evitar el desplazamiento involuntario.

	<p><b>¡ADVERTENCIA! Peligro de caída por frenado brusco.</b></p> <p>Si acciona los frenos de estacionamiento durante la marcha, no se podrá controlar el sentido de la marcha y la silla de ruedas puede frenar de forma brusca, lo que puede provocar choques o caídas.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nunca accione los frenos de estacionamiento durante la marcha.</li> </ul>
---	---



- Para accionar el freno, presione la palanca de freno hacia adelante hasta que haga tope.
- Para quitar el freno, tire de la palanca de freno hacia atrás

#### 5.5. Frenos mecánicos


Los frenos mecánicos permitirán reducir la velocidad del prototipo estando en marcha, para así disminuir la velocidad y disminuir el riesgo de caídas.

Para accionar el freno mecánico jale paulatinamente la palanca hacia arriba, esto suspenderá la energía que es suministrada a los motores y junto con los discos y mordazas permitirá que la rueda frene poco a poco.



## 6. Conducción del prototipo



### 6.1. Indicaciones de seguridad

	<p><b>¡PRECAUCIÓN! Peligro de aplastamiento.</b></p> <p>Entre la rueda trasera y el freno manual o de estacionamiento la distancia puede ser tan pequeña que es posible lastimarse los dedos.</p>
---	---

### 6.2. Frenado durante la marcha

Como ya se había mencionado para realizar un frenado durante la marcha se lo realiza con los frenos de disco, estos permitirán que el frenado sea paulatino y no de una manera brusca. Cabe recalcar que para realizar este proceso se debe presionar la palanca de una manera lenta y formidable.

### 6.3. Entrar o salir del prototipo de silla de ruedas eléctrica

	<p><b>¡ADVERTENCIA! Peligro de caída</b></p> <p>Al realizar transferencias existe un elevado peligro de caída.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Suba y baje del prototipo de silla de ruedas sin ayuda únicamente si se encuentra en condiciones físicas de hacerlo</li></ul>
	<p><b>¡ADVERTENCIA! Peligro de caída</b></p> <p>El prototipo se puede volcar hacia adelante al colocarse de pie sobre el reposapiés.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• No se ponga nunca de pie sobre el reposapiés al subir o bajar.</li></ul>

### 6.4. Manejo de la silla de ruedas eléctrica

#### Manejo por la palanca de mando

La conducción de la silla de ruedas eléctrica se efectúa mediante el joystick o la palanca de mando.

- En primer lugar, hay asegurarse que la batería este cargada para obtener un buen rendimiento; después de verificar se conecta el cable de alimentación de la caja de control a la batería y se presiona el switch de la batería para alimentar el sistema.



OFF

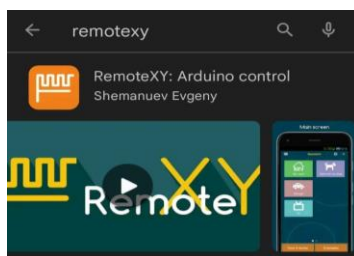
- Una vez alimentado el sistema se procede a encender el switch de control, el cual se lo hace presionado el botón señalado durante unos 5 segundos aproximadamente. Después de este tiempo se encenderá la pantalla, la cual nos indicará que ya se puede utilizar el sistema.



- Cuando ya se encuentre encendido el sistema se procede a dar acción al joystick o a la palanca de mando, que está ubicado en la parte superior derecha de la silla de ruedas; según sea la acción que se le dé, procederá a moverse de acuerdo a las direcciones establecidas (adelante, derecha o izquierda).

### Manejo por la aplicación móvil

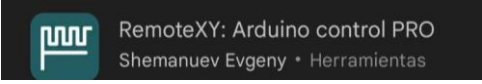
- En primer lugar, para controlar la silla de ruedas por medio de la aplicación debemos instalar la misma.
- Se accede a la PlayStore del dispositivo móvil y en buscar apps se redacta 'RemoteXY', se selecciona el primer resultado que aparece.



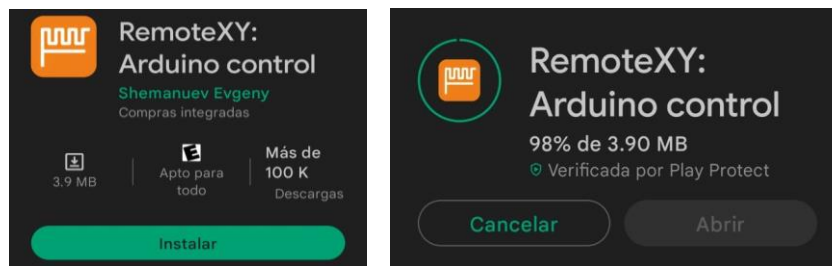
!

**¡IMPORTANTE!**

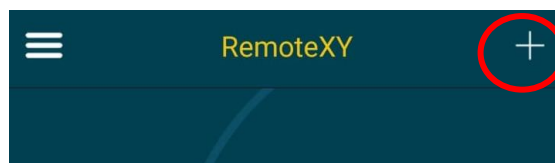
La versión que de instale dependerá mucho de la cantidad de elementos que se hayan utilizado para crear la interfaz gráfica; ya que al exceder el número de elementos la versión que se muestra en la figura anterior solo nos permitirá acceder por 30 segundos; y, en tal caso se debería instalar la versión PRO.



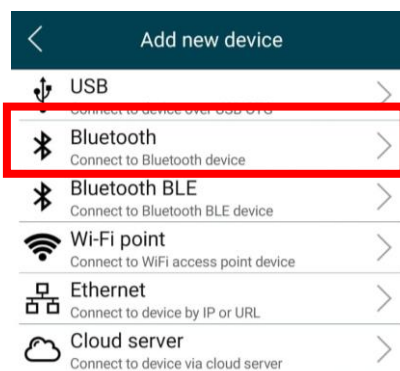
- Al seleccionar la app que se va a descargar, ingresamos a su pantalla de instalación. Le damos donde dice ‘Instalar’ y esperamos que la aplicación se descargue en nuestro dispositivo móvil.



- Una vez instalada la aplicación, la buscamos en nuestro dispositivo y la seleccionamos. Al acceder a su entorno, presionaremos el signo de ‘+’, que se encuentra en la parte superior derecha.

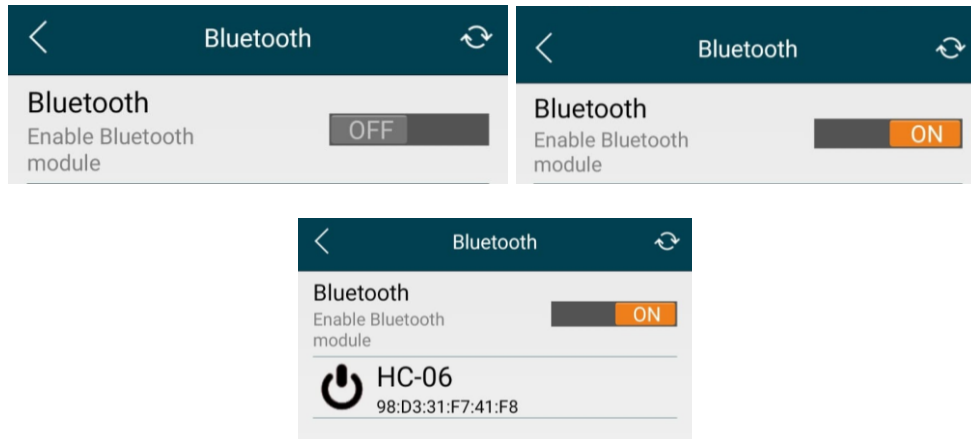


- Nos aparecerá una pantalla que nos permitirá agregar un nuevo dispositivo, en nuestro caso seleccionamos la conexión por Bluetooth.

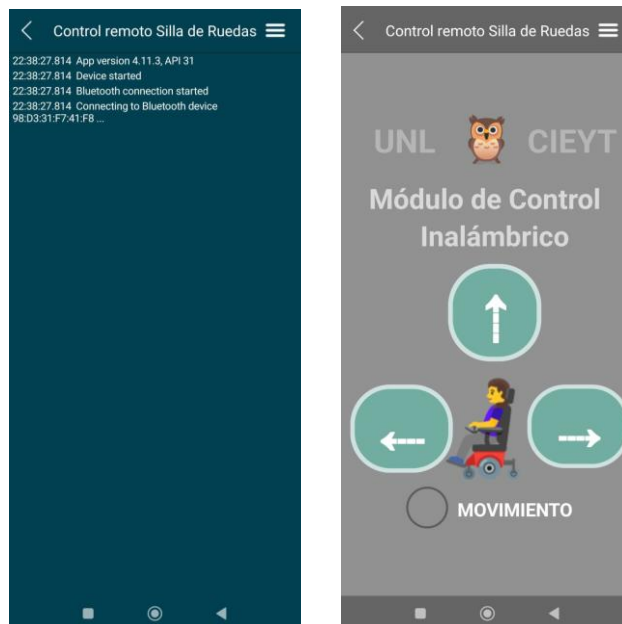




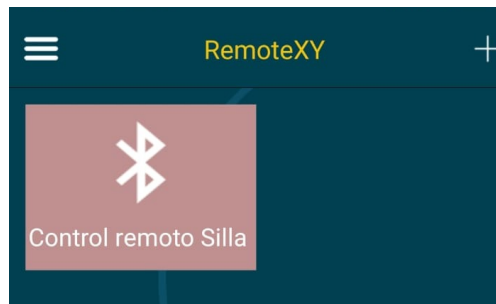
- Al entrar en ese entorno activamos el bluetooth, posteriormente aparecerán los dispositivos activos en ese momento. Se selecciona el botón que indique el nombre del módulo que se está utilizando en este caso “HC-06”.



- Al momento de seleccionar el dispositivo este abrirá una nueva ventana donde se visualizará el proceso de conexión que tardará alrededor de 10 segundos y seguidamente aparecerá la interfaz grafica lista para ser usada.



- Una vez que se ha instalado correctamente el aplicativo móvil, para el uso continuo accederemos en primer lugar a la aplicación de “RemoteXY”, en donde su pantalla principal ya se podrá visualizar el enlace que se realizó anteriormente.





- Antes de utilizar la aplicación móvil, se procede la misma forma que cuando se maneja por la palanca de mando, es decir, se verifica la conexión de la batería y que el sistema este correctamente encendido. Además, de verificar que el sistema este correctamente encendido; también se debe asegurarse de tener su dispositivo móvil cargado.
- Para manejar la silla de ruedas mediante la aplicación móvil, se accede a su interfaz gráfica, tal como se mencionó anteriormente. Para asegurar un correcto movimiento se debe mantener aplastado el botón que indique la dirección en la que se quiera movilizar; para verificar que esté funcionando, al momento de mantener presionando un botón se encenderá un led que indicara que la silla de ruedas se encuentra en movimiento.



## 7. Transporte y almacenamiento

### 7.1. Indicaciones de seguridad


	<p><b>¡ADVERTENCIA! Peligro de lesiones por transporte sin seguridad</b></p> <p>Su silla de ruedas no es apropiada para el transporte de personas en vehículos. En caso de accidente puede sufrir lesiones considerables.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Durante el transporte, no se siente en la silla de ruedas sino en un asiento seguro</li></ul>
---	---

	<p><b>¡IMPORTANTE!</b></p> <p>El desgaste excesivo del material podría afectar a la estabilidad de piezas de soporte</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Riesgo de lesiones debido a un transporte inadecuado</li><li>• La silla de ruedas eléctrica debe almacenarse en un lugar seco</li><li>• La temperatura durante el transporte y almacenamiento debe estar dentro del rango de 5 C – 40 C.</li></ul>
---	---

### 7.2. Indicaciones de transporte en un vehículo.

De ser necesario si necesita que se transporte la silla de ruedas eléctrica en cualquier vehículo, se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- En primer lugar, se debe asegurar que el sistema se encuentre apagado, tanto el switch del display como el switch de la batería, esto para evitar accidentes al momento de manipular.
- Una vez apagado todo, se pliega la silla de ruedas para que sea más fácil manipularla y colocarla en el vehículo.

	<p><b>¡IMPORTANTE!</b></p> <p>Para evitar que se malogren los dispositivos y cables expuestos, al colocar la silla de ruedas en el vehículo se lo debe hacer de tal forma que la palanca de mando quede hacia arriba mientras que la rueda izquierda quede para abajo.</p>
---	--


## 8. Mantenimiento y conservación

Para garantizar la seguridad y fiabilidad necesarias, realice regularmente las siguientes tareas de mantenimiento o encomiéndelas a otra persona.

	DIARIA	SEMANAL	MEENSUAL	ANUAL
Comprobación de los neumáticos		X		
Comprobación de batería	X			
Control visual	X			
Limpieza		X		
Comprobación de las conexiones	X			
Revisión de los frenos	X			
Revisión del prototipo de manera técnica				X

- **Comprobación de los neumáticos**
  - Verificar que no tenga ninguna avería u objeto incrustado o que impida su correcto movimiento.
- **Comprobación de la batería**
  - Verifique que la batería este correctamente conectada y cargada
  - Comprobar que no se genere ningún cortocircuito.
  - Control visual
  - Inspeccione su prototipo de silla de ruedas eléctrica para detectar piezas flojas, grietas u otros defectos.
  - Si algo le llama la atención, solicite una revisión exhaustiva a un distribuidor especializado
- **Limpieza**
  - Compruebe si las ruedas pueden girar libremente.
  - Elimine la suciedad y los pelos de las ruedas.
- **Comprobación de las conexiones**
  - Compruebe que las cajas que contienen el sistema eléctrico y electrónico; además de la batería estén correctamente colocadas.
  - Verificar que la batería este correctamente conectada

- Apriete las conexiones roscadas aflojadas.

	<p><b>¡IMPORTANTE!</b></p> <p>Las tuercas y tornillos de seguridad pierden su efecto al aflojarlas y apretarlas repetidamente</p>
---	---

- **Revisión de frenos**

- Compruebe que los frenos estén bien colocados.
- Revisar que no presenten alguna avería
- Revisar que las mordazas de ellos frenos no impidan el correcto funcionamiento de motores

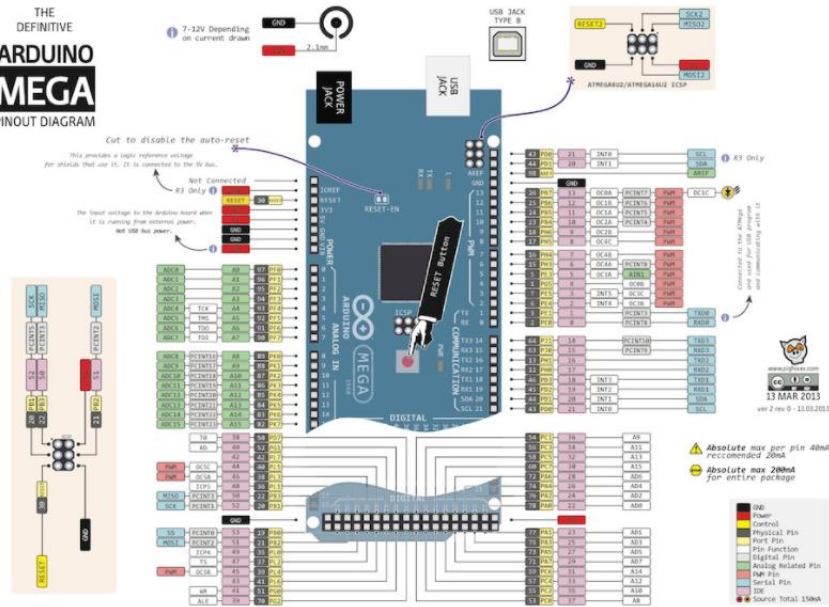
### Anexo 3: Especificaciones técnicas de los componentes mecánicos y electrónicos

#### 3.1 Especificaciones técnicas del Arduino MEGA2560

MICROCONTROLADOR	ATmega2560
TENSIÓN DE FUNCIONAMIENTO	5V
VOLTAJE DE ENTRADA (RECOMENDADO)	7-12V
VOLTAJE DE ENTRADA (LÍMITE)	6-20V
PINES DE E/S DIGITALES	54 {de los cuales 15 proporcionan salida PWM}
PINES DE ENTRADA ANALÓGICA	16
CORRIENTE CC POR PIN DE E/S	20mA
CORRIENTE CC PARA CLAVIJA DE 3,3 V	50mA
MEMORIA FLASH	256 KB de los cuales 8 KB utilizados por el gestor de arranque
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
VELOCIDAD DE RELOJ	16 MHz
LED_CONSTRUIDO	13
LONGITUD	101,52 mm
ANCHO	53,3 mm
PESO	37 gramos

En la siguiente figura se muestra el diagrama de pines de la placa de Arduino Mega 2560.

THE DEFINITIVE  
**ARDUINO MEGA**  
PINOUT DIAGRAM



### 3.2 Especificaciones técnicas del joystick KY-023

#### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- Los movimientos direccionales son simplemente dos potenciómetros, uno para cada eje
- Compatible con la interfaz Arduino
- El Módulo de Joystick biaxial XY KY-023 aplica ARDUINO
- Dimensiones: 1.57 in x 1.02 in x 1.26 in (40 x 26 x 32 mm)
- Peso: 14 gr
- 5 Pines
- Color: negro

#### Configuración de los Pines del modulo KY-023

- GND: tierra
- +5V: 5V CD
- VRx: voltaje proporcional a la posición x
- VRy: voltaje proporcional a la posición y
- SW: Botón de cambio de interruptor

### 3.3 Especificaciones técnicas del módulo bluetooth HC-06

## ESPECIFICACIONES TÉCNICAS



- Firmware HC-06-20190901
- Voltaje de Operación: 5 V.
- Corriente de Operación: < 40 mA
- Corriente modo sleep: < 1 mA
- Chip: BC417143
- Alcance 10 metros
- Velocidad de transmisión: 1200 bps hasta 1.3 Mbps
- Baudrate por defecto: 9600,8,1,n.
- Bluetooth: V2.0+EDR
- Longitud de cable: 21.5 cm
- Frecuencia: Banda ISM de 2,4 GHz
- Modulación: GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying)
- Potencia de emisión: 4 dBm, clase 2
- Sensibilidad: -84 dBm a 0.1% VER
- Velocidad asíncrona: 2.1 Mbps (máx.) / 160 kbps.
- Velocidad síncronos: 1 Mbps/1 Mbps
- Seguridad: Autenticación y encriptación
- Interfaz: Bluetooth - Puerto serie UART TTL

### 3.4 Especificaciones técnicas de los motores dentado sin escobillas de 36 V 250 W

Condición: 100% nuevo

Tipo opcional: motor trasero.

Especificaciones del motor: 36 V 250 W.

Velocidad: 18.6 mi/h.

Tamaño de la horquilla trasera: aprox. 5.315 in.

Freno: freno V / freno de disco.

Controlador: 36 V 15 A.

Asistencia: sensor de asistencia de 5 puntos magnéticos

Palanca de freno: palanca de freno de corte eléctrico

Acelerador: acelerador de pulgar

Pantalla: pantalla SW-810LED.

Modo de cableado: cable impermeable para motor saliente, cableado común para otros

Tamaño: 16.5 x 16.5 x 1.3 in.

Peso: 15.4 lbs.

### 3.5 Especificaciones técnicas de la batería Ebike 36V 10Ah de iones de litio



Voltaje	36V
Capacidad	10AH
Corriente de descarga nominal	20A
Tipo de conexión	10S 4P
Voltaje de carga	42V
Corriente de carga	3A
Tiempo de carga	3.5H
Rango	alrededor de 20-30 millas
Ciclo vital	80% de capacidad después de 1000 ciclos
Dimensión	10,4 x 3,1 x 2,8 pulgadas
Peso	3.3LB

**Anexo 4:** Construcción de la estructura.



**Sistema de sujeción**



**Base para acoplar los motores**



**Bases adheridas a la silla de ruedas**



**Ruedas implementadas en la estructura**



**Bases para colocar la palanca de mando, freno y display**

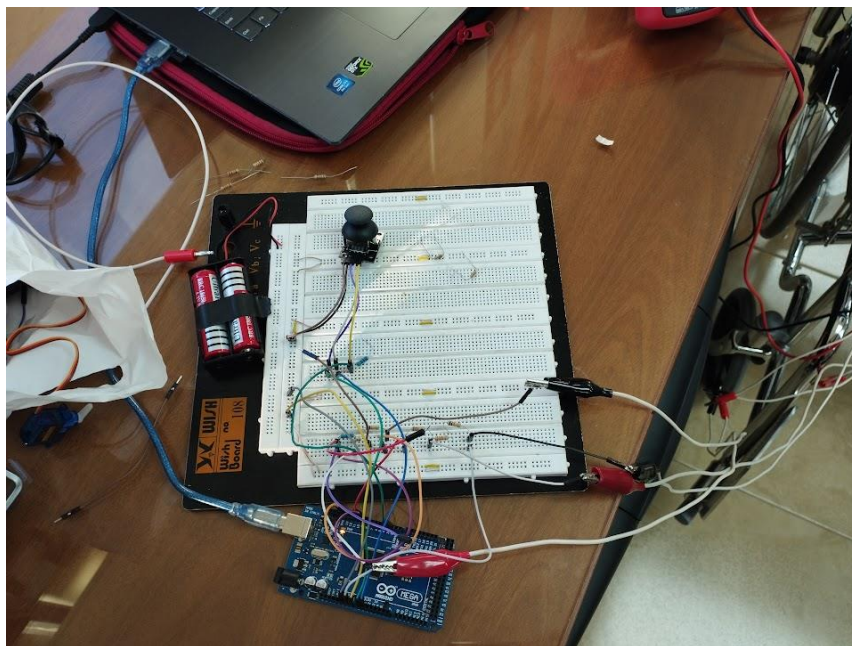
## Anexo 5: Análisis de los componentes

### 5.1 Prueba de funcionamiento



**Funcionamiento de los motores con la batería**

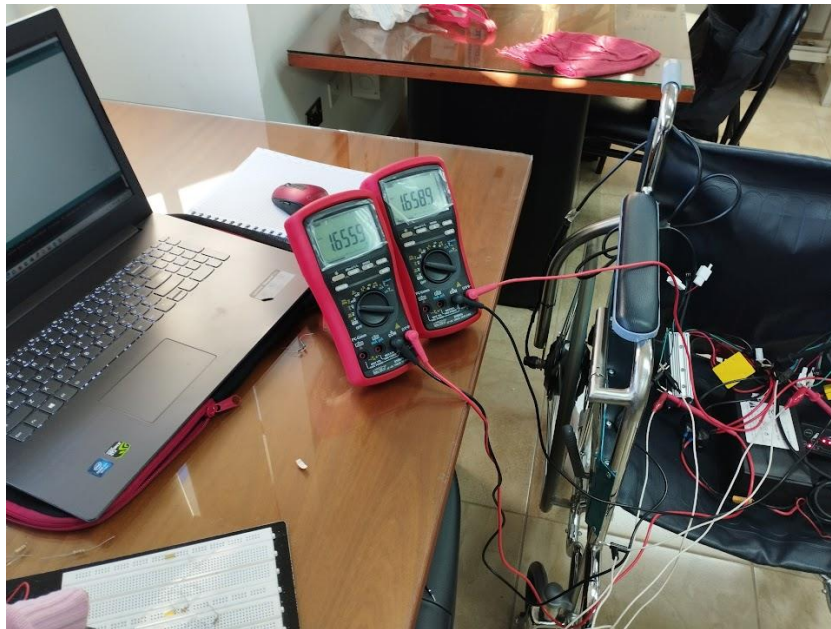
### 5.2 Circuito y valores para realizar el control de movimiento



**Circuito de prueba**



**Valores en estático**



**Valores en movimiento**



**Valor en giro a la derecha**



**Valor de giro a la izquierda**

## Anexo 6: Código del programa de operación.

```
1 ////////////////////////////////////////////////////////////////////
2 // RemoteXY include library //
3 ////////////////////////////////////////////////////////////////////
4 // RemoteXY select connection mode and include library
5 #define REMOTEXY_MODE__HARDSERIAL
6 #include <RemoteXY.h>
7 // RemoteXY connection settings
8 #define REMOTEXY_SERIAL Serial3
9 #define REMOTEXY_SERIAL_SPEED 9600
10
11 // RemoteXY configurate
12 #pragma pack(push, 1)
13 uint8_t RemoteXY_CONF[] = // 175 bytes
14 { 255,3,0,1,0,168,0,16,28,1,1,10,23,37,20,21,170,31,226,135,
15 161,0,1,10,40,63,22,18,170,31,226,135,162,0,1,10,2,63,22,19,
16 170,31,226,135,160,0,70,16,14,85,9,9,28,135,0,129,0,25,88,26,
17 4,31,77,79,86,73,77,73,69,78,84,79,0,129,0,7,7,14,7,29,
18 85,78,76,0,129,0,40,7,20,7,29,67,73,69,89,84,0,129,0,18,
19 62,27,20,17,240,159,145,169,226,128,141,240,159,166,188,0,129,0,25,5,
20 13,10,26,240,159,166,137,0,129,0,6,20,55,6,30,77,195,179,100,117,
21 108,111,32,100,101,32,67,111,110,116,114,111,108,32,0,129,0,17,28,33,
22 6,30,73,110,97,108,195,161,109,98,114,105,99,111,0 };
23
24 // this structure defines all the variables and events of your control interface
25 struct {
26 | // input variables
27 uint8_t forward; // =1 if button pressed, else =0
28 uint8_t right; // =1 if button pressed, else =0
29 uint8_t left; // =1 if button pressed, else =0
30 | // output variables
31 uint8_t indicator; // led state 0 .. 1
32 | // other variable
33 uint8_t connect_flag; // =1 if wire connected, else =0
34
35 } RemoteXY;
36 #pragma pack(pop)
37
```



```

38 ////////////////////////////////////////////////////////////////////
39 //           END RemoteXY include           //
40 ////////////////////////////////////////////////////////////////////
41
42 #define PIN_VRx A0
43 #define PIN_VRy A1
44 #define PIN_SW 2
45 #define PIN_SERVO 6
46
47 //variables para guardar la ubicación del joystick
48 int x, y;
49 int x_ang, y_ang;
50 const int motor1= 6;
51 const int motor2= 7;
52
53 void setup()
54 {
55     RemoteXY_Init ();
56     // TODO you setup code
57     Serial.begin(9600);
58     pinMode(motor1 , OUTPUT); //definir pin como salida
59     pinMode(motor2 , OUTPUT); //definir pin como salida
60     // configurar el pin del pulsador como entrada con pullup
61     pinMode(PIN_SW, INPUT_PULLUP );
62 }
63
64 void loop()
65 {
66     RemoteXY_Handler ();
67     // leer posición del joystick con Arduino
68     x = analogRead(PIN_VRx);
69     y = analogRead(PIN_VRy);
70     // mapear los valores a grados
71     x_ang = map( x, 0, 1023, 0, 180 );
72     y_ang = map( y, 0, 1023, 0, 180 );
73     // ADELANTE
74     if(x_ang>100 || (RemoteXY.forward==1)){
75         Serial.println("ADELANTE");
76         digitalWrite(motor2 , HIGH);// poner el Pin en HIGH
77         digitalWrite(motor1 , HIGH);// poner el Pin en HIGH
78         Serial.println(x_ang);
79         RemoteXY.indicator = 1;
80         return;
81     }

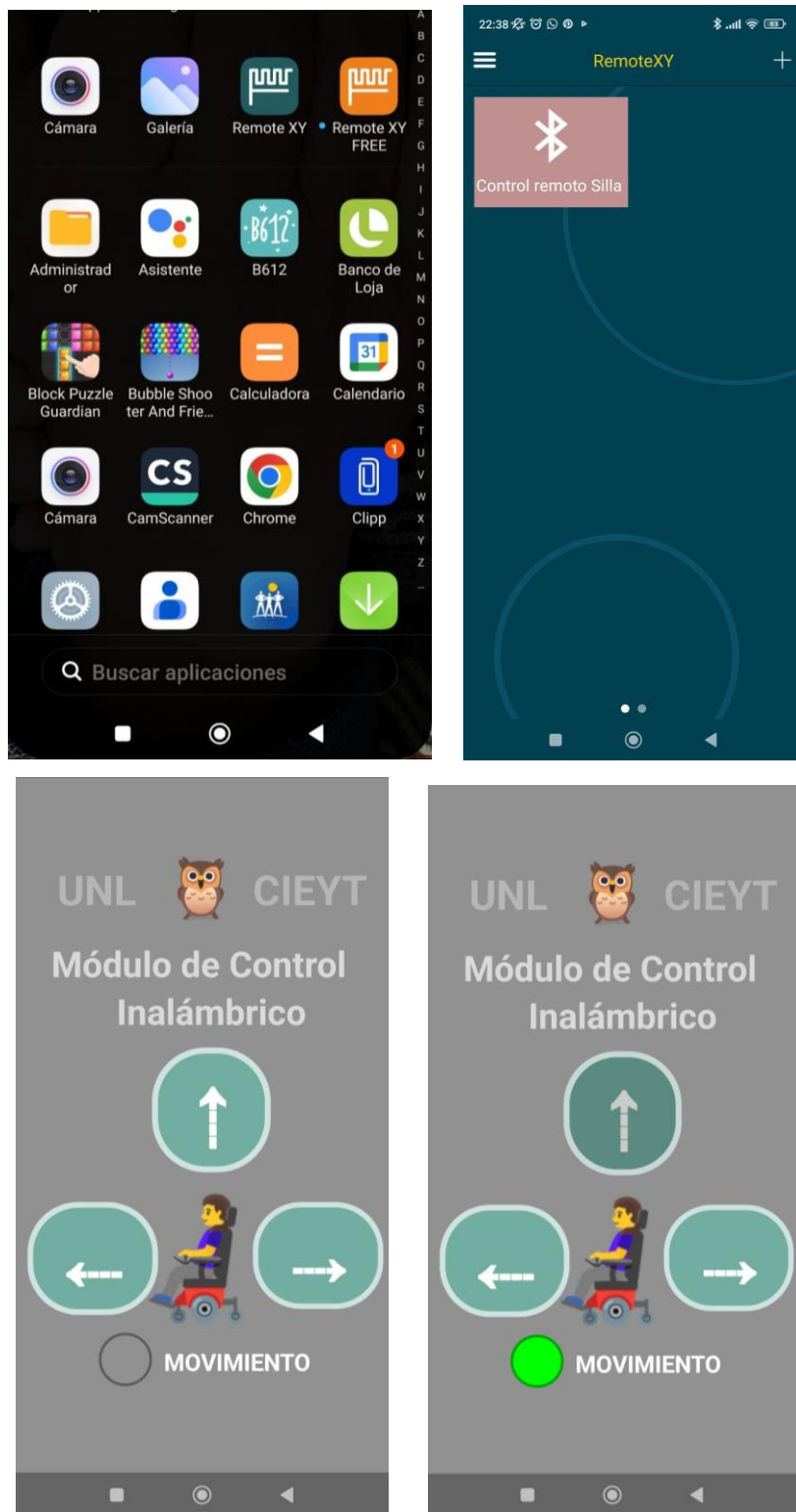
```

```

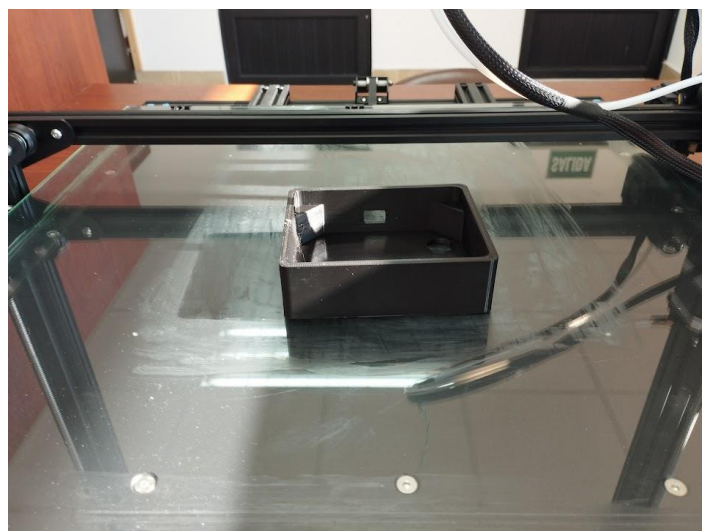
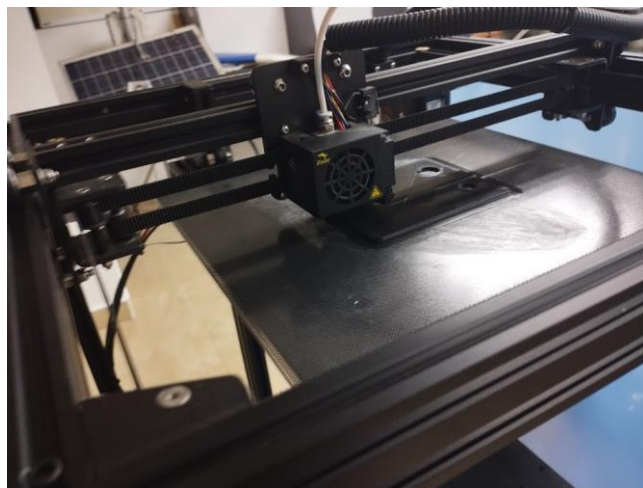
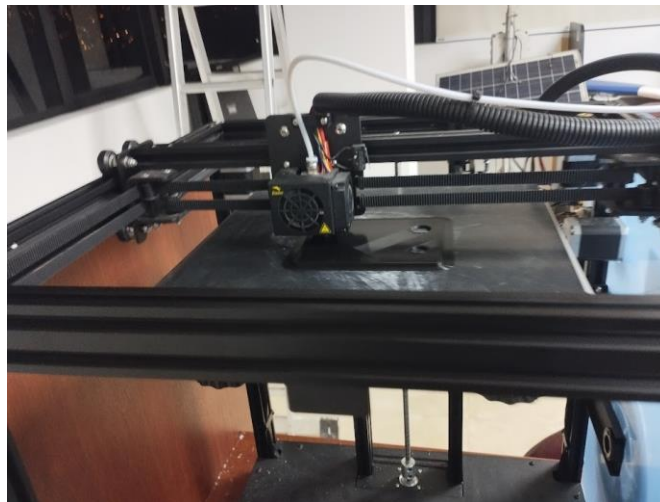
82 //GIRO A LA DERECHA
83 if((y_ang>100 && x_ang<=100) || (RemoteXY.right==1)){
84     Serial.println("DERECHA");
85     digitalWrite(motor1 , HIGH);// poner el Pin en HIGH
86     digitalWrite(motor2 , LOW);// poner el Pin en HIGH
87     Serial.println("1 ENCENDIDO; 2 APAGADO");
88     RemoteXY.indicator = 1;
89     return;
90 }
91 //GIRO A LA IZQUIERDA
92 if((y_ang<50 && x_ang<=100) || (RemoteXY.left==1)){
93     Serial.println("IZQUIERDA");
94     digitalWrite(motor1 , LOW);// poner el Pin en HIGH
95     digitalWrite(motor2 , HIGH);// poner el Pin en HIGH
96     Serial.println("1 APAGADO; 2 ENCENDIDO");
97     RemoteXY.indicator = 1;
98     return;
99 }
100 digitalWrite(motor1 , LOW); // poner el Pin en LOW
101 digitalWrite(motor2 , LOW);
102 RemoteXY.indicator = 0;
103 }

```

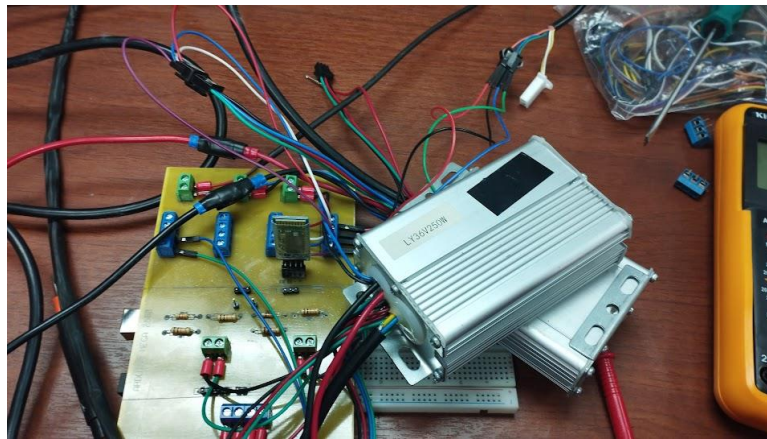
## Anexo 7: Interfaz gráfica del aplicativo móvil



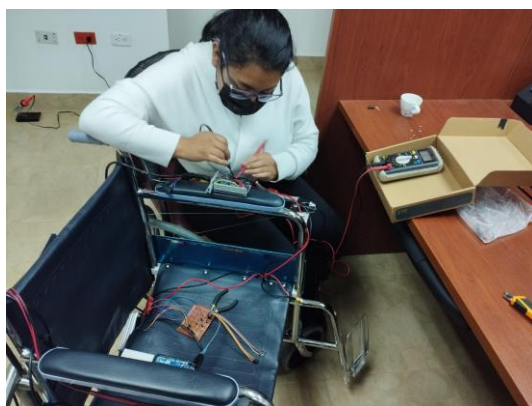
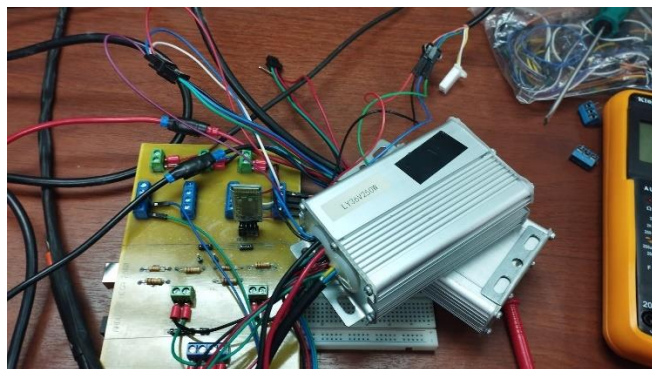
**Anexo 8:** Proceso de impresión de estructuras



**Anexo 9:** Proceso de ensamblaje de dispositivos y del sistema de control



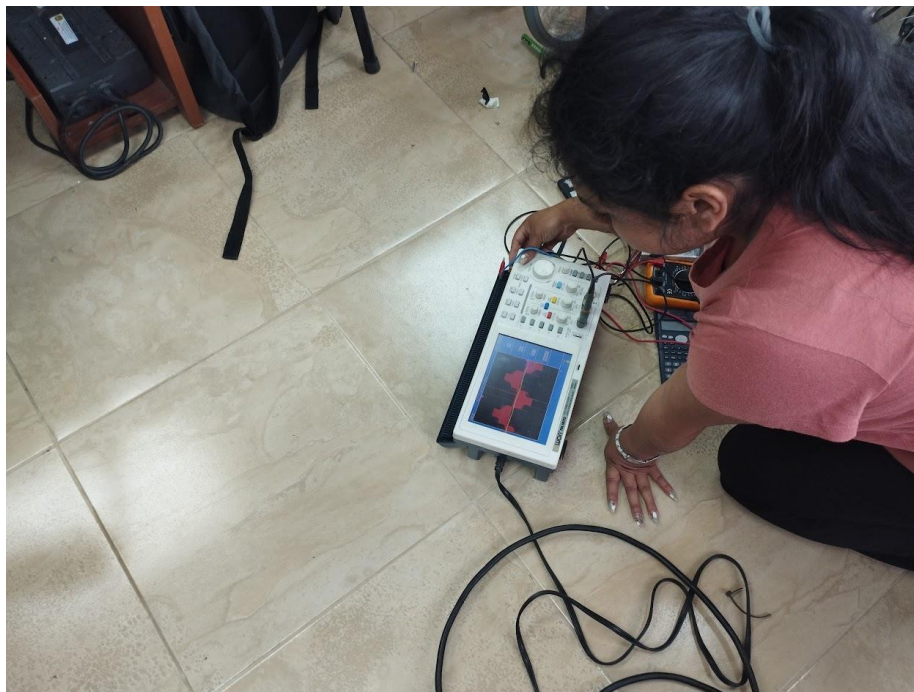
**Conexión con la placa PCB**



**Conexión de circuitos**



**Instalar los sistemas en sus respectivas estructuras**



**Resultados en el osciloscopio**

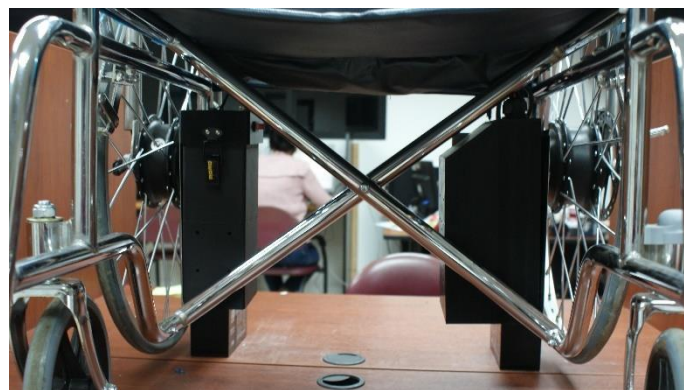
**Anexo 10: Prototipo final**



**Vista frontal y posteriores del prototipo final**



**Vista superior del prototipo**



**Vista inferior del prototipo**

**Anexo 11:** Pruebas de funcionamiento del prototipo











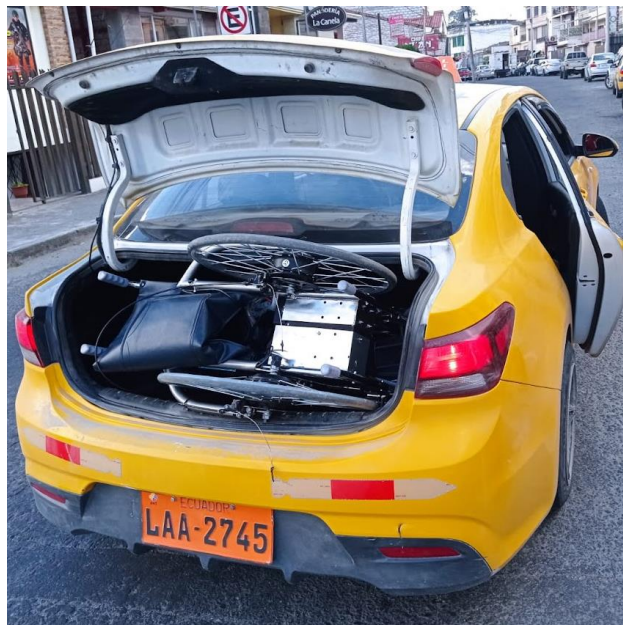
Anexo 12: Validación del prototipo













**Anexo 13:** Certificación de traducción del resumen

## English Speak Up Center

Nosotros "*English Speak Up Center*"

CERTIFICAMOS que

La traducción del resumen de tesis titulada "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO AUTOMATIZADO DE SILLA DE RUEDAS CON PROPULSIÓN ELÉCTRICA BASADA EN TECNOLOGÍA DE BAJO COSTE." documento adjunto solicitado por la señorita Xiomara Anahí Cabrera Ordóñez con cédula de ciudadanía número 1150281796 ha sido realizada por el Centro Particular de Enseñanza de Idiomas "*English Speak Up Center*"

Esta es una traducción textual del documento adjunto. El traductor es competente y autorizado para realizar traducciones.

Loja, 21 de noviembre de 2022

  
Mg. Sc. Elizabeth Sánchez Burneo  
DIRECTORA ACADÉMICA



DIRECCIÓN: SUCRE 207, 46 ENTRE AZUAY Y MIGUEL RÍOFRÍO

TÉLEFONO: 099 5263 264