

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAAGUAZU
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIAS.
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRONICA.**



**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL ELECTRONICO
PARA UNA SILLA DE RUEDA ELECTRICA AUTOMATICA
COMANDADA A TRAVES DE UNA APLICACIÓN CELULAR”**

EVER GILBERTO VAZQUEZ MARTINEZ.

SAUL SALOMON GONZALEZ GALEANO.

Coronel Oviedo – Paraguay.

Año 2023.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAAGUAZU
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRONICA.**

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL ELECTRONICO
PARA UNA SILLA DE RUEDA ELECTRICA AUTOMATICA
COMANDADA A TRAVES DE UNA APLICACIÓN CELULAR”**

Elaborado por:

EVER GILBERTO VAZQUEZ MARTINEZ.

SAUL SALOMON GONZALEZ GALEANO.

Tutor:

Prof. Ing. Víctor Leonardo Leguizamón Centurión.

Trabajo presentado a la Facultad de Ciencias y
Tecnología de la Universidad Nacional de Caaguazú,
como requisito para la obtención del título de Ingeniero en
Electrónica

Coronel Oviedo – Paraguay.

Año 2023.

PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo de fin de grado para la obtención del Título de Ingeniero Electrónico aprobado en representación de la Facultad Ciencias y Tecnología de la Universidad Nacional de Caaguazú, por el Tribunal Examinador constituido por los siguientes profesores.

Prof. Ing.

Prof. Ing.

Prof. Ing.

Acta:

Fecha:

Calificación:

Ever Vázquez Martínez
Saúl González Galeano

Dedicado a:

Al gran arquitecto todo poderoso por darme la oportunidad de experimentar todas las circunstancias que me hicieron crecer como persona y como profesional a lo largo de esta prestigiosa carrera universitaria, por que aprendí el principio de la polaridad y a enfocarme en el lado positivo de las cosas.

A mis amados padres Mateo Vázquez y Blanca Martínez, por brindarme su apoyo incondicional, por inculcarme en los valores del trabajo, la perseverancia y la superación personal. Por creer en mis sueños y por el sacrificio y esfuerzo que hicieron para darme la oportunidad de poder estudiar esta prestigiosa carrera, que a pesar de las dificultades circunstanciales de la vida nunca me hicieron faltar nada, ¡este logro es también de ustedes!

A mis familiares que siempre me apoyaron y me dieron fuerzas para nunca desistir y me apoyaron en todo momento.

A mis amigos y compañeros de facultad por brindarme su amistad y por apoyarme durante todos los años que estuve dentro de la carrera, por que supieron comprenderme en momentos difíciles y nunca me dieron la espalda.

Ever Gilberto Vázquez Martínez.

Hoy, al finalizar este emocionante capítulo de mi vida universitaria, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a cada uno de ustedes. Han sido mis pilares, mis guías y mis inspiraciones a lo largo de este viaje hacia la culminación de mi carrera.

A mi amada familia, mis padres Sindulfo González y Norma Galeano, por su inquebrantable apoyo, amor y sacrificio. Cada paso que he dado en esta senda educativa ha sido posible gracias a su aliento constante y confianza en mí. Han sido mi refugio en los momentos difíciles y mis compañeros en las celebraciones más felices.

A mis amigos, quienes han compartido risas, desafíos y sueños durante estos años. Ustedes han sido mi energía, mi motivación y mis cómplices en cada aventura universitaria.

A mi facultad, a mis profesores y mentores, les agradezco por su sabiduría, paciencia y guía inquebrantable. Sus conocimientos y dedicación han sido la luz que me ha iluminado en mi camino educativo.

Con aprecio y cariño.

Saúl Salomón González Galeano.

Agradecimientos:

En primer lugar, a DIOS por brindarnos las fuerzas para terminar nuestra carrera universitaria y ser Ingenieros Electrónicos, como siempre lo soñamos.

A nuestro tutor el Ing. Leonardo Leguizamón y a nuestro Co-tutor el Lic. Néstor Benítez que fueron los principales precursores para la corrección de este trabajo, por la paciencia y la invaluable ayuda.

Al Ingeniero Cesar Ferreira por ser un excelente guía, por sus sugerencias y correcciones acertadas en el proceso de realización de este proyecto.

Gracias a todos y a cada uno de los funcionarios de la Facultad de Ciencias y Tecnologías por su amabilidad y buena predisposición de siempre.

A todos los docentes que nos guiaron para nuestra formación personal.

Ever Gilberto Vázquez Martínez.

Saúl Salomón González Galeano.

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL ELECTRONICO PARA UNA SILLA DE RUEDA ELECTRICA AUTOMATICA COMANDADA A TRAVES DE UNA APLICACIÓN CELULAR”

EVER GILBERTO VAZQUEZ MARTINEZ.

SAUL SALOMON GONZALEZ GALEANO.

RESUMEN.

En el país existe una gran cantidad de personas con discapacidad en miembros inferiores según las estadísticas proveídas por la SENADIS. Los autores como futuros profesionales con calidad humana quieren dar su colaboración con la problemática aprovechando el avance constante de la tecnología, que puede ser usado para mejorar la calidad de vida de las personas y el entorno de las mismas, por lo tanto, en el presente proyecto de fin de grado se diseñó una silla de rueda eléctrica automática comandada a través de una aplicación celular.

De manera a lograr los objetivos trazados se analizaron los requerimientos y las dificultades de las personas con discapacidad, se determinaron las funcionalidades y características técnicas necesarias para el funcionamiento correcto del prototipo, posteriormente se diseñó todos los sistemas de control. Se construyó el prototipo logrando el control por medio de una aplicación celular. Por último, se realizó un presupuesto de la realización del prototipo de silla de ruedas eléctrica autónoma comandada a través de una aplicación celular.

Palabras claves: Silla de ruedas motorizada, sistema de control, dispositivo móvil Android.

DESIGN OF AN ELECTRONIC CONTROL SYSTEM FOR AN AUTOMATIC ELECTRIC WHEELCHAIR COMMANDED THROUGH A CELLULAR APPLICATION.

EVER GILBERTO VAZQUEZ MARTINEZ.

SAUL SALOMON GONZALEZ GALEANO.

ABSTRACT

In the country there is a large number of people with disabilities in the lower limbs according to the statistics provided by SENADIS. The authors, as future professionals with human quality, want to collaborate with the problem, taking advantage of the constant advancement of technology, which can be used to improve the quality of life of people and their environment, therefore, at present final degree project an automatic electric wheelchair commanded through a cell phone application was designed.

In order to achieve the objectives set, the requirements and difficulties of people with disabilities were analyzed, the functionalities and technical characteristics necessary for the correct operation of the prototype were determined, later all the control systems were designed. The prototype was built achieving control through a cellular application. Finally, a budget was made for the realization of the autonomous electric wheelchair prototype commanded through a cellular application.

Key Words: Motorized wheelchair, control system, Android mobile device.

CONTENIDO.

PÁGINA DE APROBACIÓN	i
Dedicado a:	ii
Agradecimientos:	iii
CONTENIDO.	vi
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABLAS	x
LISTA DE ABREVIATURAS.	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.	2
CAPÍTULO 1.	2
CONCEPTOS GENERALES.	2
1.1. ANTECEDENTES HISTORICO.	2
1.2. ESTADO DEL ARTE.	3
1.3. DEFINICION DE TERMINOS BASICOS.	4
CAPITULO 2.	5
LA DISCAPACIDAD.	5
2.1. Generalidades.	5
2.2. Tipos de discapacidades.	5
2.2.1. Discapacidad sensorial.	5
2.2.2. Discapacidad múltiple.	6
2.2.3. Discapacidad motriz.	6
2.2.3.1. Discapacidad a nivel extremidades inferiores, tronco cuello y cabeza.	7
2.3. Afectación a la Columna vertebral.	7
2.3.1. Lesión de la medula espinal y de las vértebras.	7
2.4. Enfermedades Degenerativas.	8
2.4.1. Ataxia de Friedreich.	8
2.4.2. Esclerosis múltiple.	9
2.4.3. Distrofia muscular progresiva.	9
CAPÍTULO 3.	10
Silla de ruedas.	10
3.1. Silla de ruedas motorizada.	10
3.2. Consideraciones generales para el diseño de una silla de ruedas.	11
3.3. Componentes de una silla de ruedas.	12
3.4. El proceso del diseño.	17
3.4.1. Recopilación de requisitos y directrices de diseño.	17
3.4.2. Diseño y construcción de prototipos.	18
3.4.3. Pruebas de rendimiento.	18
3.4.4. Evaluación con usuarios.	18
3.4.5. Producción y suministro.	18

vi

EVER GILBERTO VAZQUEZ MARTINEZ.

SAUL SALOMON GONZALEZ GALEANO

3.4.6. Seguimiento a largo plazo.	18
CAPITULO 4.	20
Fundamentos Electrónicos.	20
4.1. TIPOS DE DISPOSITIVOS ELÉCTRICOS.	20
4.1.1. Microcontroladores.	20
4.1.2. Arduino.	21
4.1.2.1. Hardware del Arduino.	22
4.1.2.2. Aplicaciones del Arduino.	24
4.1.2.3. Interface de programación del Arduino.	24
4.2. SISTEMA DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA.	25
4.2.1. WIFI.	27
4.3. Motores de corriente continua.	27
4.3.1. Tipos de motores de corriente continua.	28
4.4. Sistema de Control.	29
4.4.1. Clasificación de sistema de control.	29
4.4.1.1. Sistema de control de lazo abierto.	29
4.4.1.2. Sistema de control de lazo cerrado.	30
4.5. Sistema de potencia.	31
4.6. Puente H.	32
4.7. Variador de voltaje.	33
4.8. Sistema Android.	34
4.8.1. MIT App Inventor.	34
II. RESUMEN EJECUTIVO.	36
CAPITULO 5.	36
5.1. Descripción del trabajo.	36
5.2. Métodos y Técnicas utilizadas.	36
5.3. Justificación.	39
5.4. Finalidad del proyecto.	39
5.5. Metas.	40
5.6. Objetivos	40
5.6.1. Objetivos generales	40
5.6.2. Objetivos específicos	40
5.7. Beneficiarios.	41
5.8. Producto.	41
5.9. Localización física y cobertura espacial	41
5.10. Especificaciones de actividades y tareas realizadas	42
5.11. Factibilidad técnica.	43
5.12. Factibilidad económica.	43
III. INGENIERÍA DE DISEÑO	45
CAPÍTULO 6	45
6.1. RELEVAMIENTO Y RECOLECCIÓN DE DATOS.	45
6.1.1. Estudio de la ruta de movilidad.	45
6.1.1.1. Obstáculos de las posibles rutas de movilidad.	45
6.1.2. Identificación de los requerimientos.	47
6.2. CARACTERÍSTICAS DEL PROTOTIPO DE LA SILLA DE RUEDAS.	48
6.2.1. Dimensionamiento del prototipo.	48
6.2.2. Dimensionamiento del peso total.	48
6.2.3. Dimensionamiento de la potencia en estado de reposo.	49
6.2.4. Dimensionamiento de la potencia requerida para ejes inclinados.	52

6.2.5.	Características generales de las rampas.	52
6.2.5.1.	Determinar el largo de la rampa según el desnivel a salvar.	53
6.2.6.	Calculo del torque requerido.	55
6.2.7.	Parametrizar la velocidad.	56
6.2.8.	Calculo de la batería.	57
6.2.8.1.	La Autonomia de la batería.	57
6.2.8.2.	Tiempo de carga de la batería.	59
6.3.	SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS ELECTRONICOS Y SISTEMAS DE POTENCIA.	60
6.3.1.	Arduino.	61
6.3.2.	Alimentación del sistema.	64
6.3.3.	Cargador de batería de 12v.	65
6.3.4.	Motores modelo PEWM82M.	65
6.3.5.	Modulo controlador de Motor DC.	68
6.3.6.	Mando local.	70
6.3.7.	Módulo Acelerómetro y giroscopio MPU6050.	71
6.3.8.	Conexionado.	72
6.3.9.	Portafusibles.	74
6.3.10.	Fusibles.	75
6.3.11.	Placa tipo protoboard.	75
6.3.12.	Voltímetro.	75
6.3.13.	Regulador de voltaje de 9v DC	76
6.4.	DISEÑO Y ELABORACIÓN DE SOFTWARE PARA EL CONTROLADOR Y LA APLICACIÓN CELULAR.	76
6.4.1.	IDE de Arduino.	77
6.4.2.	Programación.	79
6.4.2.1.	Programación para control con botones.	79
6.4.2.2.	Programación para control a través de una aplicación celular.	81
6.4.3.	Diagrama del sistema de control de la silla de ruedas.	85
6.5.	CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO.	87
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	105
V.	CONCLUSIONES.	106
VI.	RECOMENDACIONES.	107
VII.	BIBLIOGRAFIA.	108

LISTA DE FIGURAS

CAPITULO 4.

FIGURA 1. COMPONENTES DE UN MICROCONTROLADOR.	20
FIGURA 2. SISTEMA DE LAZO ABIERTO.	29
FIGURA 3. SISTEMA DE LAZO CERRADO.	30
FIGURA 4. ESTRUCTURA DE UN PUENTE H (MARCADO EN ROJO).	32
FIGURA 5. PUENTE H LOS 2 ESTADOS BÁSICOS DEL CIRCUITO.	32
FIGURA 6. LOGO DEL MIT APP INVENTOR.	35

CAPITULO 5.

FIGURA 7. CUIDAD DE CORONEL OVIEDO, VISTA SATELITAL.	42
---	----

CAPITULO 6.

FIGURA 8. VEHÍCULOS MAL ESTACIONADOS EN LA VEREDA.	46
FIGURA 9. DIAGRAMA DE FUERZAS EN UN CUERPO LIBRE.	50
FIGURA 10. DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE PARA EL ANÁLISIS DE FUERZAS DE UNA PENDIENTE CON ELEVACIÓN.	54
FIGURA 11. DIAGRAMA DE BLOQUES DE TODO EL SISTEMA DE CONTROL PARA LA SILLA DE RUEDAS.	60
FIGURA 12. ARDUINO UNO.	62
FIGURA 13. WEMOS D1 WIFI ESP.	63
FIGURA 14. BATERÍA UTILIZADA EN EL PROYECTO GP 12120 F2.	64
FIGURA 15. CARGADOR DE BATERÍA.	65
FIGURA 16. MOTORES MODELO PEWM82M.	66
FIGURA 17. MEDIDAS DE MOTOR LADO DERECHO.	67
FIGURA 18. MEDIDAS DE MOTOR LADO IZQUIERDO.	67
FIGURA 19. RELACIÓN DE POTENCIA, TORQUE Y VELOCIDAD DE LOS MOTORES PEWM82M.	68
FIGURA 20. MODULO CONTROLADOR DE MOTOR DC.	70
FIGURA 21. BOTÓN PARA MANDO LOCAL.	71
FIGURA 22. MÓDULO MPU6050.	72
FIGURA 23. CABLES DUPONT.	73
FIGURA 24. FICHAS DE CONEXIÓN DE 8 CONDUCTORES.	73
FIGURA 25. PORTAFUSIBLES DE 6 UNIDADES.	74
FIGURA 26. PLACA PROTOBOARD.	75
FIGURA 27. VOLTÍMETRO DIGITAL.	76
FIGURA 28. INICIO DE ARDUINO IDE.	78
FIGURA 29. DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES PARA LA PROGRAMACIÓN PARA LA BOTONERA.	80
FIGURA 30. PROGRAMACIÓN DEL CRUZ CONTROL DE LA BOTONERA.	80
FIGURA 31. PROGRAMACIÓN INICIAL DE CÓDIGO PARA EL MODULO WIFI.	81
FIGURA 32. SEGUNDA PARTE DE LA PROGRAMACIÓN DEL CÓDIGO PARA EL MODULO WIFI.	82
FIGURA 33. TERCERA PARTE DE LA PROGRAMACIÓN DEL CÓDIGO PARA EL MODULO WIFI.	82
FIGURA 34. INICIO DE MIT APP INVENTOR.	83
FIGURA 35. PROGRAMACIÓN REALIZADA EN MIT APP INVENTOR.	83
FIGURA 36. DISEÑO DE LA APLICACIÓN PARA EL CONTROL DEL PROTOTIPO.	84
FIGURA 37. DIAGRAMA DEL SISTEMA DE CONTROL DE LA SILLA DE RUEDAS MOTORIZADA.	86
FIGURA 38. ESTADO INICIAL DE LA ESTRUCTURA METÁLICA.	88
FIGURA 39. ESTRUCTURA LIJADA Y PINTADA.	89
FIGURA 40. RUEDAS DE SOPORTE DE RESPALDO.	90
FIGURA 41. SUSPENSIÓN REGULABLE.	91
FIGURA 42. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN PARA LAS BATERÍAS.	92

ix

EVER GILBERTO VAZQUEZ MARTINEZ.

SAUL SALOMON GONZALEZ GALEANO

FIGURA 43. TAPA DE LA CAJA DE BATERÍAS.	93
FIGURA 44. COLOCACIÓN DE RODAMIENTOS.	94
FIGURA 45. RUEDAS DEL PROTOTIPO.	95
FIGURA 46. ANTES DE LA RESTAURACIÓN.	96
FIGURA 47. DESPUÉS DE LA RESTAURACIÓN.	97
FIGURA 48. MANTENIMIENTO AL MOTOR ELÉCTRICO.	98
FIGURA 49. MANTENIMIENTO DE LA CAJA REDUCTORA.	99
FIGURA 50. COMPONENTES RESTAURADOS.	100
FIGURA 51. PINTURA DE COMPONENTES DEL MOTOR Y REDUCTOR.	101
FIGURA 52. ENSAMBLAJE DE LAS PARTES DEL MOTOR Y REDUCTOR.	102
FIGURA 53. MODIFICACIONES A LA ESTRUCTURA METÁLICA.	103
FIGURA 54. PROTOTIPO TERMINADO.	104

LISTA DE TABLAS

CAPITULO 3.

TABLA 1. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES DE LA SILLA DE RUEDAS.	13
TABLA 2. CARACTERÍSTICAS DE LOS MOTORES.	16

CAPITULO 4.

TABLA 3. CARACTERÍSTICA DE LOS COMPONENTES DE ARDUINO UNO.	23
---	----

CAPITULO 5.

TABLA 4. COSTO DEL PROTOTIPO.	44
------------------------------------	----

CAPITULO 6.

TABLA 5. MEDIDAS FINALES DEL PROTOTIPO.	48
TABLA 6. PESO TOTAL DEL PROTOTIPO.	49
TABLA 7. PENDIENTE MÁXIMA Y LARGO DE RAMPA SEGÚN EL DESNIVEL A SALVAR.	53
TABLA 8. RESUMEN DE LAS VELOCIDADES CON SUS RESPECTIVAS AUTONOMÍAS.	59
TABLA 9. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL ARDUINO UNO.	62
TABLA 10. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL WEMOS D1 WIFI ESP.	63
TABLA 11. FUNCIONAMIENTO DE LA INTERFAZ DE CONTROL.	69

LISTA DE ABREVIATURAS.

SENADIS: Secretaria Nacional por los Derechos Humanos de las personas con Discapacidad.

AT: es un sistema que se encarga de realizar la conexión y/o transmisión automática de información.

CPU: Unidad Central de procesamiento.

IoT: Internet de las cosas.

UART: Receptor/transmisor asíncrono universal.

SPI: Interfaz Periférica Serial.

I. INTRODUCCIÓN

La realización de este proyecto de fin de grado nace a raíz de la necesidad que tienen las personas con discapacidad en los miembros inferiores para trasladarse, siendo la silla de ruedas convencional una alternativa muy limitante. Teniendo en cuenta las dificultades que se presenta se decidió realizar el diseño de un sistema de control electrónico para una silla de ruedas eléctrica automática comandada a través de una aplicación celular, esta alternativa es una solución prometedora para mejorar la movilidad dentro de estos entornos tan difíciles y cambiantes para los usuarios de silla de ruedas, esto les permitirá recorrer por diversas superficies y esquivar obstáculos con gran facilidad, y lo más importante sin depender de la asistencia de terceros, a su vez se minimiza al máximo el estrés físico asociado al esfuerzo realizado, además, facilita recorrer grandes distancias en un menor tiempo.

Para lograr el desarrollo del proyecto de fin de grado se fraccionó el trabajo en varios capítulos, comenzando con el primer capítulo, que consta de los conceptos generales tales como los antecedentes históricos, estado del arte y definición de términos básico. Seguidamente, en el capítulo dos se describe las discapacidades que pueden sufrir las personas en los miembros inferiores de los cuales se quiere facilitar su movilidad con este prototipo. Por su lado en el capítulo tres se describe toda la revisión bibliográfica de la silla de ruedas.

Ya en el capítulo cuatro nos adentramos en los fundamentos teóricos de la electrónica necesaria para lograr que el prototipo sea funcional. En el capítulo cinco, se realizó el resumen ejecutivo del proyecto, descripción del trabajo a realizar, objetivos y finalizando se realizó el presupuesto correspondiente de la silla de ruedas eléctrica. En el sexto y último capítulo del trabajo se desarrolló la ingeniería de diseño del proyecto, al final obteniendo un resultado favorable en la construcción de dicho prototipo.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

CAPÍTULO 1.

CONCEPTOS GENERALES.

1.1. ANTECEDENTES HISTORICO.

- El estudio titulado "Sistema de control para la movilidad y extensión de una silla de ruedas Eléctrica de bipedestación", Año 2017 realizado por Julio Cují y Luis Fernando Bedón Vásquez, Luis Fernando tuvo como objetivo principal el desarrollo de una silla de ruedas eléctrica de bipedestación la cual pueda ser una alternativa de bajo precio en el mercado ecuatoriano, y pueda ser reparada con facilidad.
- Otro estudio relacionado con el proyecto es "Aplicación Android para silla de ruedas, que permita controlarla por comandos de voz, pantalla táctil y programación de ruta" realizado por José Noguera, Sergio Guerrero y Omar Carreño, Año 2016 el objetivo fue presentar una aplicación en sistema operativo Android que controla una silla de ruedas eléctrica para uso de personas que presenten movilidad reducida con el fin de mejorar su calidad de vida y desarrollo en la sociedad. Este aplicativo se desarrolló por medio de la interfaz de Android Studio con el fin de reducir los costos de implementación gracias a su estrategia de Open Source (Código Libre). En este prototipo de silla de ruedas se presenta 4 sensores ultrasónicos para detectar la proximidad de objetos, tacos de protección, un sistema de carga de baterías con un panel solar, un joystick para manipular la silla, una tarjeta de distribución de señales de entrada y salida del prototipo y un dispositivo Arduino, que se encarga de procesar e interpretar los datos provenientes de la aplicación, sean éstos de voz, panel táctil o programación de ruta, a través de un módulo WiFi CC3000 de Arduino que gestiona el envío de señales a la etapa de potencia. La etapa de potencia emplea un circuito Puente H para el cambio de dirección en los motores.

- El proyecto titulado "Control de una Silla de Ruedas por Medio de un Dispositivo Móvil con Sistema Operativo Android" realizado por José Alberto Morales Mancilla, Año 2012. Esta propuesta surgió como respuesta a la necesidad de desplazamiento que enfrentan niños y niñas con discapacidad motriz. En la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, la Unidad de Orientación al Público (UOP) atiende a niños que tienen alguna discapacidad motriz y cuyas familias no cuentan con los recursos económicos suficientes para afrontar este problema. La utilización de una silla de ruedas motorizada de bajo costo y manipulada por el propio usuario a través de un sistema móvil resulta una valiosa alternativa. Su fácil adaptación a cualquier tipo de silla lo hace muy accesible a las familias de escasos recursos. El prototipo obtenido se diseñó de acuerdo a las especificaciones de los terapeutas y asesores de la UOP y fue evaluado satisfactoriamente con niños y niñas de esta institución.

1.2. ESTADO DEL ARTE.

- Intel presenta junto a Stephen Hawkins el prototipo de una silla de ruedas inteligente, ha sido durante el IDF (Intel Developer Fórum) en San Francisco, donde Intel ha aprovechado para anunciar su más reciente desarrollo, el cual busca hacer de la silla de ruedas un dispositivo avanzado dotándolo de nuevas funciones que ayudarán a personas con problemas de movilidad, o discapacidad extrema como el caso de Stephen Hawkins.

Esta silla es un proyecto a cargo del departamento de "Internet de las Cosas" en Intel, quienes han logrado incorporar tecnología para que la silla se conecte a diversos dispositivos, y sea controlada a través de un Smartphone o por medio de voz e incluso movimientos oculares, esto dependiendo del grado de discapacidad del paciente, así mismo, la silla cuenta con sensores biométricos que analizan y obtienen información de

la persona, así como datos del funcionamiento y estado mecánico de la silla, con la finalidad de prevenir futuros fallos.

Toda esta información puede ser enviada a uno o varios dispositivos para dar seguimiento constante tanto de la silla como del paciente, por otro lado, la silla de ruedas cuenta con GPS, ya que la idea es que sea lo más independiente posible, ya que con esta función será capaz de trazar una ruta de acuerdo a los obstáculos, ya que la silla grabará las situaciones del terreno donde se encuentra para futuros trayectos y así guardar toda una base de datos de ciudades amigables con personas discapacitadas.

1.3.DEFINICION DE TERMINOS BASICOS.

- **Aplicación:** Programa o conjunto de programas informático diseñado para realizar una función determinada directamente para el usuario.
- **Celular:** Aparato telefónico de pequeño tamaño, portátil, sin hilos ni cables externos, para poder hablar desde cualquier lugar, siempre que sea dentro del área de cobertura del servicio que lo facilita.
- **Sentidos:** Es la capacidad de percibir estímulos físicos tanto externos como internos mediante ciertos órganos que son transmitidos al sistema nervioso.
- **Tensión:** es la diferencia de potencial (también denominada voltaje), una magnitud física que cuantifica la diferencia de potencial eléctrica entre dos puntos.

CAPITULO 2.

LA DISCAPACIDAD.

2.1. Generalidades.

Es la objetivación de la deficiencia en una persona puede tener repercusiones en su capacidad de realizar actividades en los términos considerados normales para alguien de sus características (edad, genero). Donde la deficiencia es toda perdida o anormalidad de una estructura o función psicológica, fisiológica o anatómica. La discapacidad es toda limitación o ausencia (debida a una deficiencia) de la capacidad de realizar una actividad dentro de los limite y forma y dentro del margen que se considera normal para un ser humano.

La carencia o anomalía que puede ser temporal o permanente, de carencias físicas (un miembro, órgano, tejido u otra estructura del cuerpo), psíquicas o sensoriales que puedan afectar a un individuo, desde el principio de su vida, o de forma sobrevenida. Representa la exteriorización de un estado patológico, es la consecuencia de una enfermedad [1].

2.2. Tipos de discapacidades.

No existe un solo tipo de discapacidad, se pueden encontrar diferentes clasificaciones dependiendo del tipo del cual presenten dificultades los individuos. De los cuales se pueden separar en estos grandes grupos.

2.2.1. Discapacidad sensorial.

La discapacidad sensorial se refiere a las limitaciones derivadas de deficiencias en alguno de los sentidos que nos permiten percibir el mundo tanto externo como interno. Existen diversas alteraciones en todos los sentidos, aunque las más conocidas son la discapacidad visual y la auditiva. Estas condiciones pueden afectar la capacidad de una persona para ver o

escuchar de manera adecuada, lo que puede tener un impacto significativo en su vida diaria y en su interacción con el entorno. [2].

2.2.2. Discapacidad múltiple.

Este tipo de discapacidad se origina a partir de una combinación de limitaciones derivadas de las deficiencias mencionadas anteriormente. Por ejemplo, puede referirse a un individuo que es ciego y también tiene discapacidad intelectual, o a una persona parapléjica con sordera. Estas situaciones conllevan desafíos adicionales debido a la interacción compleja de diferentes discapacidades, lo que puede requerir enfoques y apoyos específicos para abordar las necesidades únicas de cada individuo. Es fundamental comprender que la discapacidad resultante de la combinación de estas limitaciones puede variar en grados y manifestaciones, y es importante ofrecer un enfoque integral y personalizado para brindar el mejor apoyo posible a estas personas. [2].

2.2.3. Discapacidad motriz.

La discapacidad física o motora es todo aquel tipo de limitación causada por la disminución, pérdida parcial o total de las capacidades motoras o físicas, como por ejemplo la pérdida de una extremidad o disfuncionalidad de alguna parte del cuerpo.

Estas formas de discapacidad se presentan por algún tipo de problema medular, accidentes de tráfico, traumatismo craneoencefálico, enfermedad médica generadora de limitación física, amputaciones, etc [2].

2.2.3.1. Discapacidad a nivel extremidades inferiores, tronco cuello y cabeza.

Este grupo abarca a las personas que tienen limitaciones en su capacidad para moverse o caminar debido a la ausencia total o parcial de sus piernas. También incluye a aquellos que, aunque tienen sus piernas, no pueden moverlas o tienen restricciones en sus movimientos que les impiden desplazarse de manera independiente. Estas personas requieren la ayuda de otra persona o de dispositivos como sillas de ruedas, andaderas o prótesis para desplazarse. Además, se incluye a aquellos que tienen dificultades para moverse y no cuentan con ninguna forma de ayuda, así como a las personas que cojean al caminar.

Este subgrupo también abarca a las personas con limitaciones para doblarse, estirarse o agacharse para recoger objetos, así como a aquellas que tienen discapacidades de movimiento en el tronco, cuello y cabeza (excepto parálisis facial). También se incluyen las deficiencias musculo esqueléticas que afectan la postura y el equilibrio del cuerpo.

Asimismo, se engloban en este subgrupo las personas que tienen dificultades o falta de movimiento en el tronco, cuello y cabeza, combinado con la falta de movimiento en las piernas [3].

2.3. Afectación a la Columna vertebral.

2.3.1. Lesión de la médula espinal y de las vértebras.

La médula espinal es una estructura tubular larga y delicada que se extiende desde el final del tronco del encéfalo hasta la parte inferior de la columna vertebral. Está compuesta por nervios que transmiten mensajes tanto hacia el cerebro como desde el cerebro hacia el resto del cuerpo. La médula espinal desempeña un papel crucial en la comunicación entre el cerebro y el sistema nervioso periférico. Las lesiones medulares pueden afectar las vértebras, la médula espinal o las raíces de los nervios raquídeos que pasan entre las

vértebras. Incluso el conjunto de raíces nerviosas que se extiende desde la médula espinal, conocido como cauda equina o cola de caballo, puede sufrir daños. Estas lesiones en la médula espinal pueden ocurrir de diferentes maneras:

- Sacudida debido a un traumatismo cerrado o contusión, como una caída o una colisión.
- Presión o compresión causada por huesos rotos, hinchazón o acumulación de sangre, como un hematoma.
- Desgarros parciales o completos que implican la sección de los nervios.

Es importante tener en cuenta que, debido a que la médula espinal está rodeada y protegida por la columna vertebral, las lesiones en la columna o en los tejidos conjuntivos circundantes, como los discos intervertebrales y los ligamentos, también pueden afectar la médula espinal. Algunos ejemplos de estas lesiones incluyen:

- Fracturas de las vértebras.
- Separación completa (luxación) de las vértebras adyacentes.
- Desalineación parcial (subluxación) de las vértebras adyacentes.
- Laxitud en los ligamentos que unen las vértebras adyacentes. [4]

2.4. Enfermedades Degenerativas.

2.4.1. Ataxia de Friedreich.

Enfermedad hereditaria poco frecuente que ocasiona un daño progresivo y permanente del sistema nervioso provocando problemas de movilidad, con síntomas que van entre debilidad muscular y problemas cardiacos entre otros más.

En general el primer rasgo en aparecer es la dificultad para caminar esta va avanzando progresivamente a los brazos y al tronco [5].

2.4.2. Esclerosis múltiple.

Se trata de una enfermedad del sistema nervioso central que es capaz de provocar discapacidad. En el caso de la esclerosis múltiple, el sistema inmunológico ataca la capa protectora llamada mielina que recubre las fibras nerviosas, lo cual ocasiona dificultades en la comunicación entre el cerebro y el resto del cuerpo. Con el transcurso del tiempo, esta enfermedad puede resultar en el deterioro o daño permanente de las fibras nerviosas [6].

2.4.3. Distrofia muscular progresiva.

Es un conjunto de enfermedades, todas hereditarias, estas se caracterizan por provocar una debilidad progresiva y una pérdida de la masa. Existen varios tipos de distrofia muscular estos se presentan principalmente en varones, y no existe una cura, aunque se puede ralentizar su avance. La forma más frecuente y grave es la distrofia muscular de Duchenne, con una expectativa de vida de 20 años. Estas personas son mucho más propensas a las lesiones, hay que debe de cuidar mucho los cambios de posiciones y los movimientos bruscos. [6].

CAPÍTULO 3.

Silla de ruedas.

3.1. Silla de ruedas motorizada.

La movilidad motorizada se refiere a dispositivos tecnológicos de asistencia que permiten a las personas con limitaciones físicas desplazarse en cualquier entorno con la mínima o nula ayuda posible. Existen diferentes tipos de dispositivos de movilidad motorizada, entre los cuales los más comunes son los scooters de tres ruedas con batería, los vehículos adaptados, las sillas de ruedas motorizadas y los vehículos de granja adaptados. Cada componente de estos sistemas de movilidad depende de los demás para garantizar un funcionamiento óptimo. Al elegir un dispositivo de movilidad motorizada, es importante considerar ciertas características que sean convenientes, como la seguridad, la comodidad, la fiabilidad y la portabilidad para facilitar el transporte. Además, se debe tener en cuenta la facilidad de mantenimiento y la compatibilidad con otros dispositivos tecnológicos. Asimismo, es fundamental que tanto el paciente como los cuidadores puedan utilizar el dispositivo con facilidad y que se ajuste a las necesidades individuales.

La movilidad motorizada a través de dispositivos de asistencia tecnológica permite a las personas con limitaciones físicas desplazarse con mayor autonomía y comodidad. Al elegir un dispositivo de movilidad motorizada, es esencial considerar factores como la seguridad, la comodidad, la fiabilidad y la facilidad de uso, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de los usuarios y facilitar su integración en diferentes entornos.

Para lograr que esta silla de ruedas motorizada pueda moverse en muchas direcciones es necesario motores que son accionados por baterías recargables. El ocupante controla la silla por medio de un mando y un

pequeño panel de control que da acceso a configurar la velocidad y, en algunos modelos, la posición del respaldo, asiento, reposa pies, etc. colocado en uno de los apoya brazos. Casi todos los modelos de sillas son altamente adaptables: tamaño y posición de asiento y respaldo, apoya brazos y apoya pies regulables y extraíbles [7].

3.2.Consideraciones generales para el diseño de una silla de ruedas.

Al diseñar una silla de ruedas, es fundamental tener en cuenta que el usuario pueda participar en la mayor cantidad de actividades posibles. La silla de ruedas debe proporcionar al individuo la oportunidad de tener una vida más activa, sin comprometer su salud ni su seguridad. Tanto la seguridad como la comodidad son dos factores de suma importancia que influyen en la calidad de vida de los usuarios a largo plazo. Aunque parezca que cualquier silla es mejor que no tener ninguna, esto no es cierto si una silla causa lesiones adicionales o representa otros riesgos para la salud del usuario.

Al diseñar una silla de ruedas, se deben considerar los siguientes puntos para garantizar la salud y seguridad del usuario:

- Se debe asegurar que la silla de ruedas no cause daños adicionales a la columna del usuario. Una silla sin cojín o con un cojín inadecuado puede perjudicar la columna vertebral, lo que puede resultar en la necesidad de reposo en cama y posibles complicaciones graves e incluso la muerte prematura sin el tratamiento y cuidado adecuados.
- Las sillas con poca estabilidad pueden volcarse y causar lesiones al usuario en caso de caída.
- Las sillas de ruedas demasiado anchas y pesadas pueden ocasionar complicaciones en los brazos y hombros del usuario debido al esfuerzo requerido para maniobrarla.

- Los bordes afilados en la silla pueden causar cortes que pueden infectarse.
- La silla de ruedas debe ser duradera y resistente al uso continuo en el entorno del usuario para evitar fallas prematuras que puedan causar lesiones. [7]

3.3. Componentes de una silla de ruedas.

Existen diversos elementos que forman parte de una silla de ruedas, los cuales se seleccionan según las necesidades de los pacientes. Es importante tener conocimiento acerca de los componentes más comunes utilizados en el diseño de una silla de ruedas.

Chasis: Se refiere al bastidor que sostiene las piezas y accesorios que conforman la silla de ruedas. Hay chasis rígidos y plegables. Los chasis rígidos son conocidos por ser ligeros, económicos y duraderos. Por otro lado, los chasis plegables permiten reducir el espacio necesario para su transporte, aunque requieren una mayor fuerza para moverlos.

Los materiales más utilizados en la fabricación de sillas de ruedas se presentan en la siguiente tabla:

Material	Características
Acero	Resistente y económico, pero más pesado que otros materiales.
Aluminio	Ligero y resistente, adecuado para sillas de ruedas autopropulsadas.

Titanio	Combina resistencia y ligereza, ideal para usuarios que requieren una silla de ruedas liviana y duradera.
Fibra de carbono	Extremadamente ligero y resistente, pero más costoso. Se utiliza en sillas de ruedas de alto rendimiento o deportivas.

Tabla 1. Propiedades de los materiales de la silla de ruedas.

Es importante tener en cuenta que la elección de los materiales y componentes dependerá de las necesidades individuales del usuario, su movilidad, peso y preferencias personales. El diseño y los materiales seleccionados jugarán un papel crucial en la comodidad, durabilidad y funcionalidad de la silla de ruedas.

El asiento: Es un elemento fundamental en una silla de ruedas, ya que proporciona el apoyo principal al usuario, incluyendo el soporte pélvico, la distribución de presiones y la estabilidad. Puede ser flexible o rígido.

El asiento flexible es ajustable, impermeable, resistente a la abrasión y de fácil limpieza. Se adapta a las necesidades individuales del usuario y reduce la presión en puntos específicos, previniendo úlceras por presión y mejorando la circulación sanguínea.

El asiento rígido, fabricado con materiales como poliuretano, grafito o composite, ofrece una base estable y duradera. Proporciona mayor firmeza y resistencia, beneficiando situaciones que requieren soporte adicional o mayor actividad física. La elección del tipo de asiento depende de las preferencias y necesidades del usuario. Ambos ofrecen ventajas en términos de comodidad, estabilidad y bienestar en la silla de ruedas.

Respaldo: El respaldo proporciona descanso y soporte a la columna vertebral. La altura del respaldo dependerá de las necesidades individuales del paciente, asegurando que mantenga una posición adecuada, evite la fatiga y permita una mayor movilidad. El ángulo de inclinación del respaldo es una característica importante a considerar en su diseño, que dependerá del tipo de silla y la disposición del asiento sobre el chasis y las ruedas. Se busca lograr una postura óptima, con un ángulo de inclinación del respaldo generalmente entre 90° y 120°.

Reposabrazos: Los reposabrazos cumplen dos funciones principales: brindar descanso a los brazos del usuario y servir como apoyo al levantarse de la silla de ruedas. La altura ideal de los reposabrazos es a nivel del codo del usuario, proporcionando un apoyo cómodo y facilitando la transferencia de la silla de ruedas a otras superficies.

Reposapiés: Los reposapiés tienen la función de soportar el peso de las extremidades inferiores y desempeñan un papel importante en la correcta sedestación y posicionamiento del tronco. Desde un punto de vista ergonómico, se recomendaría un ángulo de 90° para los reposapiés, sin embargo, esto puede impedir el libre giro de las ruedas delanteras de la silla de ruedas. Por lo tanto, es necesario encontrar un equilibrio entre el ángulo de los reposapiés y la movilidad adecuada de las ruedas para asegurar tanto la comodidad como la funcionalidad del usuario.

Llantas: Las sillas de ruedas están equipadas con ruedas motrices y direccionales, las cuales son responsables del desplazamiento y soportan el peso de la silla. Las llantas motrices son las más grandes y reciben la potencia del motor, mientras que las llantas direccionales ayudan en el movimiento y la dirección.

Las llantas direccionales constan de ruedas horquilla y casquillo.

Motores: Los motores desempeñan un papel crucial en las sillas de ruedas motorizadas, ya que son los encargados de proporcionar la potencia necesaria para el desplazamiento. Al seleccionar los motores para una silla de ruedas, es importante considerar diversas características, entre ellas se encuentran la velocidad máxima que pueden alcanzar, la capacidad de aceleración, la duración de la batería, el nivel de ruido que generan y la facilidad de control. Además, se deben evaluar factores como la resistencia a las condiciones climáticas, la capacidad de subir pendientes y la eficiencia energética.

Es fundamental elegir motores de alta calidad y confiabilidad, que sean capaces de soportar el uso diario y garantizar un desplazamiento seguro y cómodo para el usuario. Además, es recomendable contar con un sistema de control adecuado que permita al usuario manejar la silla de forma precisa y sencilla.

Existen diferentes tipos de motores como se pueden ver en la tabla siguiente.

Características de los motores	
Motor	Características
Con escobillas	▪ Son los más comunes en las sillas de ruedas eléctricas comerciales. ▪ Accionamiento simple, basta con conectar a la fuente de alimentación. ▪ Si se requiere control de velocidad y sentido de giro es necesario implementar un driver. ▪ Costo accesible.
A pasos	▪ No requieren de caja reductora para operar a baja velocidad. ▪ Es necesario agregar un control para ponerlo en marcha. ▪ Es utilizado en tareas que requieren precisión de posicionamiento.
Servomotor	▪ Incorpora un circuito de control para la velocidad y posición ▪ Son utilizados en aplicaciones críticas y de mucha precisión. ▪ Su consumo es reducido ▪ Tiene mayor costo ▪ En sillas de ruedas pueden ser utilizados para la locomoción de la misma, donde se requiere un control preciso e velocidad y posición.

Tabla 2. Características de los motores.

Dispositivo de control - Joystick: Este dispositivo de control transforma los movimientos físicos en impulsos eléctricos, los cuales son procesados por tarjetas de control para accionar la silla de ruedas. El joystick permite al usuario manejar la silla de forma intuitiva y controlar la dirección y la velocidad del desplazamiento.

Al diseñar cualquier dispositivo de asistencia, es de vital importancia tener en cuenta de manera clara y precisa las dimensiones de las personas, así como su capacidad física para desenvolverse en su vida diaria y los espacios necesarios para realizar maniobras de giro.

Estas características individuales son la base fundamental para el desarrollo del prototipo. Si bien el uso de datos antropométricos es una herramienta útil en el proceso de diseño, no reemplaza la experiencia y el criterio de un profesional en el diseño de sillas de ruedas. Los datos antropométricos son parte del conjunto de información necesaria para asegurar una silla ergonómica, confortable y funcional [8].

3.4.El proceso del diseño.

El diseño de una silla de ruedas es un proceso que requiere la participación activa de los usuarios, quienes son los que mejor conocen sus propias necesidades físicas, culturales y sociales.

3.4.1. Recopilación de requisitos y directrices de diseño.

- Se solicita a los usuarios que proporcionen un bosquejo escrito de las necesidades y especificaciones de la silla de ruedas.
- Se consideran las limitaciones geográficas y ambientales en las que se utilizará la silla.
- Se evalúan los recursos disponibles para la producción, como los materiales y la mano de obra.
- Se estima un precio aproximado para el diseño, teniendo en cuenta los recursos y requisitos establecidos.
- Los parámetros del diseño se ajustan según las consultas a los usuarios y a expertos en las necesidades de los futuros usuarios, así como a los recursos disponibles.

3.4.2. Diseño y construcción de prototipos.

Una vez recopiladas las instrucciones de diseño, se procede a idear un diseño y construir prototipos de la silla de ruedas. Es probable que sea necesario ajustar y mejorar el diseño a través de la construcción de varios prototipos y pruebas hasta que cumpla con los requisitos establecidos en las instrucciones.

Las mismas instrucciones de diseño también se pueden utilizar para seleccionar una silla existente que se ajuste adecuadamente.

3.4.3. Pruebas de rendimiento.

Cuando se logra un prototipo que cumple con los requisitos de rendimiento, se realiza una serie de pruebas para verificar su resistencia y durabilidad. Si la silla no supera estas pruebas, es necesario realizar mejoras adicionales.

3.4.4. Evaluación con usuarios.

Una vez que el prototipo ha sido aprobado en términos de rendimiento, resistencia, durabilidad y seguridad, se somete a pruebas con usuarios en el entorno para el que ha sido diseñada la silla de ruedas.

Estas pruebas proporcionan información adicional sobre el rendimiento del prototipo en condiciones reales.

3.4.5. Producción y suministro.

Si las pruebas con usuarios son exitosas, se inicia la producción y el suministro de la silla de ruedas.

3.4.6. Seguimiento a largo plazo.

Después de la producción y el suministro, se lleva a cabo un seguimiento a largo plazo para evaluar el rendimiento de la silla a lo largo del tiempo. La

información recopilada durante este seguimiento se utiliza para realizar mejoras en el modelo.

Con la participación activa de los usuarios y un enfoque iterativo, se garantiza que el diseño de la silla de ruedas satisfaga las necesidades y requisitos de las personas que la utilizarán, proporcionando una solución óptima y funcional. [7]

CAPITULO 4.

Fundamentos Electrónicos.

4.1.TIPOS DE DISPOSITIVOS ELÉCTRICOS.

4.1.1. Microcontroladores.

Un microcontrolador es un circuito integrado digital programable, que tiene la capacidad de ejecutar instrucciones almacenadas en su memoria interna. Está compuesto de varios bloques funcionales, cada uno cumplen con una tarea específica. Están compuestas por las tres principales unidades funcionales de una computadora: unidad central de procesamiento (CPU), memoria (ROM/ RAM) y periféricos de entrada/salida [9].

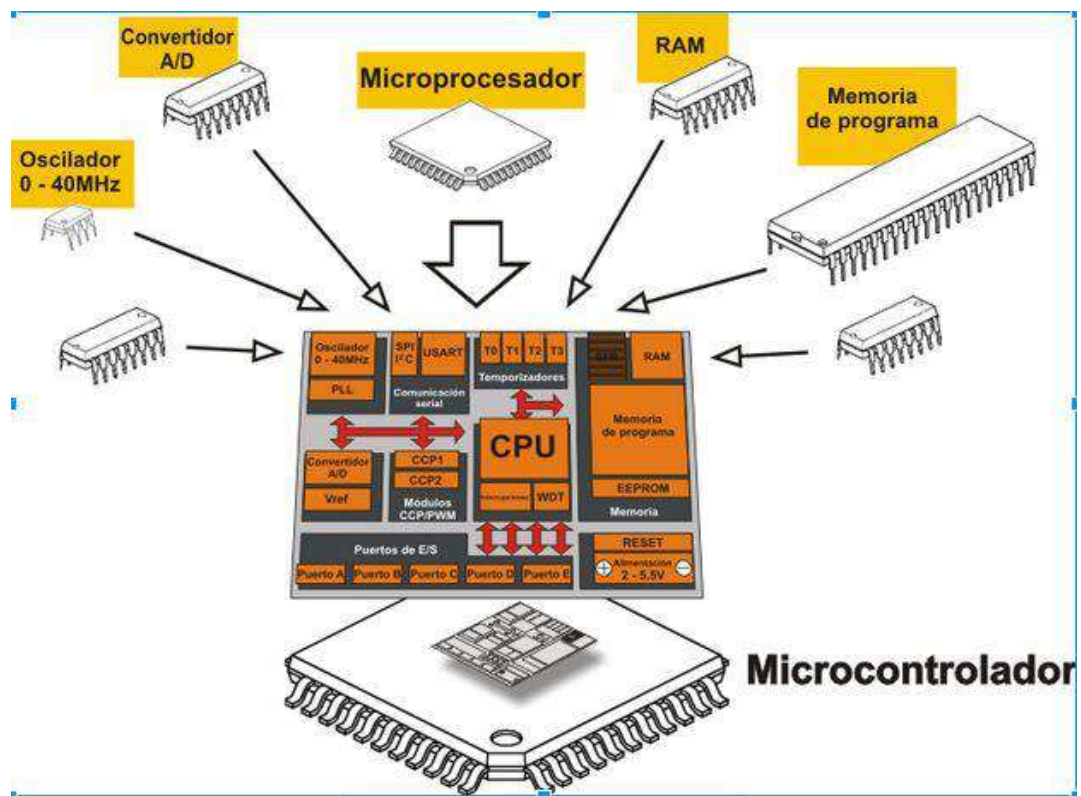


Figura 1. Componentes de un microcontrolador.

4.1.2. Arduino.

El sistema microcontrolador es una placa única y de código abierto, diseñado de tal forma que sea accesible, y sencilla de utilizar. Fue desarrollado inicialmente para facilitar la incorporación en el uso de la electrónica en diseños artísticos e interactivos y la aplicación de esta por personas sin experiencia.

Se puede utilizar para desarrollar objetos interactivos, que pueden funcionar de forma autónoma, sin necesidad de estar conectados a un ordenador, o puede conectarse con otro software que se esté ejecutando en un ordenador, como por ejemplo Flash, Processing, Max/MSP, LabView, MatLab, entre otros.

Arduino tiene la capacidad de recopilar información del entorno a través de sensores conectados a sus entradas analógicas y digitales, además, puede controlar diversos dispersivos como luces, motores y otros actuadores directamente o partir de las señales de control generadas en sus salidas. Existen modelos de Arduino específicos desarrollados para facilitar llevar tecnología puesta (weareables), o en la ropa, e-textiles. Puede comunicarse con otras placas Arduino y con otros sistemas, mediante Wifi, Ethernet, Bluetooth, etc., esto permite también la interacción a distancia y el Internet de las cosas (IoT). En el ámbito de la educación, Arduino posee un uso amplio como en la robótica, la adquisición de datos, los diseños interactivos, etc., la sencillez de uso de esta plataforma permite a personas no expertas en electrónica, utilizar en sus creaciones dispositivos electrónicos y controlarlos.

Las posibilidades de realizar desarrollos basados en Arduino tienen como límite la imaginación [10].

4.1.2.1. Hardware del Arduino.

En el mercado existen una amplia gama de placas de Arduino de los cuales constan de microcontrolador AVR Atmel de 8 bits (ATmega8, ATmega168, ATmega328, ATmega1280, ATmega2560), estos microcontroladores constan de diversas cantidades de memoria flash, pines y funciones, que varían de acuerdo al modelo. Las placas utilizan pines/cabezales hembra de una o dos hileras que facilitan las conexiones e incorporación en otros circuitos.

Las placas Arduino pueden conectarse con módulos externos denominados shields (escudos, por su traducción al español), dichos shields aumentan las características técnicas de la placa Arduino para su uso, estos poseen circuitos específicos que añaden una o más funcionalidades extras a la placa Arduino. La mayoría de estos shields se conectan a través de un bus serie I²C, aunque existen también aquellas que emplean conexión mediante el bus UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter, por su traducción al español Transmisor-Receptor Asíncrono Universal), así como con el bus SPI (Serial Peripheral Interface, por su traducción al español Interfaz Periférica Serial).

La mayoría de las placas incluyen un regulador lineal de 5 V y un oscilador de cristal de 16 MHz, o un resonador de cerámica según sea el caso. Algunos diseños, como el LilyPad, funcionan a 8 MHz y prescinden del regulador de voltaje a bordo debido a restricciones de factor/tamaño de forma específicas [10].

A continuación, se presentan un resumen de las características principales de Arduino uno:

Características	Descripción
Microcontrolador	ATmega328 de 8 bits de Atmel©
Pines Digitales	14 pines (0 a 13), configurables como entradas o salidas digitales.
Corriente de salida	Hasta 40 mA en pines configurados como salida.
Pines PWM	Seis pines se pueden configurar como salidas PWM, permitiendo generar señales analógicas simuladas.
Puerto serie	Pines 0 y 1 pueden usarse como puerto serie.
Conversor A/D	6 canales con una resolución de 10 bits para lectura de sensores analógicos.
Memoria	32 KB de memoria Flash, 2 KB de memoria SRAM y 1 KB de memoria EEPROM.
Alimentación	Se puede conectar al ordenador a través de USB o alimentarlo desde una fuente externa con voltaje recomendado de 7 a 9 V.

Tabla 3. Característica de los componentes de Arduino uno.

4.1.2.2. Aplicaciones del Arduino.

- Xoscillo: Osciloscopio de código abierto.
- Equipo científico para investigaciones.
- Arduinome: Un dispositivo controlador MIDI.
- OBDuino: un económetro que usa una interfaz de diagnóstico a bordo que se halla en los automóviles modernos.
- SCA-ino: Sistema de cómputo automotriz capaz de monitorear sensores como el TPS, el MAP y el 02S y controlar actuadores automotrices como la bobina de ignición, la válvula IAC y aceleradores electrónicos.
- The Humane PC: equipo que usa un módulo Arduino para emular un computador personal, con un monitor de televisión y un teclado para computadora.
- Ardupilot: software y hardware de aeronaves no tripuladas.
- Máquinas de control numérico por computadora (CNC).
- Impresoras 3D [10].

4.1.2.3. Interface de programación del Arduino.

Es posible establecer comunicación entre una aplicación que se ejecuta en Arduino y otro dispositivo que utiliza otro tipo de lenguaje de programación, esto es posible debido a que Arduino cuenta con una comunicación serial de datos, con esto se logran un soporte para la mayoría de los lenguajes citados a continuación:

- C++ (mediante libSerial o en Windows).
- Java.

- Matlab.
- MaxMSP: Entorno gráfico de programación para aplicaciones musicales, de audio y multimedia.
- Php.
- Liberlab (software de medición y experimentación) [10].

4.2. SISTEMA DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA.

En la actualidad, estamos viviendo en una revolución tecnológica de las comunicaciones inalámbricas, similares a las que protagonizaron en su momento la electricidad, la televisión, el ordenador o las mismas comunicaciones con cable, que supusieron nuevos modelos de negocio. La movilidad, es una de sus mayores virtudes debido a que no requieren de cables, ni entradas fijas de comunicación a la red. Esto favorece su rápida expansión.

La comunicación inalámbrica o comunicación a distancia, se basa en el uso de ondas electromagnéticas para enviar una cantidad de datos de un punto a otro (emisor y receptor) sin la necesidad de un agente o un hardware que conecte ambos puntos físicamente. Esta forma de comunicación se logra principalmente a través de la programación, utilizando hardware como antenas, etc. [11].

Las redes inalámbricas ofrecen muchas ventajas y desventajas, que son fundamentales considerar al momento de su implementación:

Principales ventajas:

- Amplia libertad de movimientos para los usuarios, permitiendo una mayor flexibilidad en el desplazamiento dentro del área de cobertura.
- Facilidad para reubicar las estaciones de trabajo, ya que no se requiere establecer cableado fijo.
- Instalación más rápida que las redes cableadas, lo que agiliza la puesta en marcha del sistema.
- Menores costos, al no necesitar gastos en cables, lo que resulta en un ahorro económico.
- Cobertura en puntos de difícil conexión mediante cables, lo que facilita la comunicación en áreas remotas o de difícil acceso.
- Permite expandir redes locales cableadas, brindando mayor flexibilidad para crecimiento futuro.
- Fácil expansión o reducción de usuarios en la red mediante la adición o eliminación de módulos, lo que ofrece una gestión más sencilla de la infraestructura.

Desventajas:

- Las redes inalámbricas por infrarrojo requieren una alineación precisa y su señal puede ser bloqueada por obstáculos como paredes o árboles.
- Aún no hay estudios concluyentes sobre la posible peligrosidad de las radiaciones utilizadas en las redes inalámbricas, lo que genera preocupación en algunos usuarios.

- Mayor vulnerabilidad en términos de seguridad, ya que cualquier persona dentro del alcance de la señal puede intentar acceder a la red inalámbrica.
- Presentan un ancho de banda menor en comparación con las redes cableadas, lo que puede afectar la velocidad de transferencia de datos [12].

4.2.1. WIFI.

Es una tecnología que brinda la posibilidad de realizar una interconexión inalámbrica de dispositivos electrónicos. Los teléfonos, las computadoras personales, televisores, videoconsolas, etc, son capaces de interconectarse entre sí o a internet a través de un punto de acceso las redes inalámbricas de área local.

Actualmente, la tecnología wifi cuenta con algunas desventajas como la seguridad de los usuarios, esta es una red abierta que es completamente accesible a terceros esto pone en peligro la información que circula por ella.

Por otro lado, la masificación de usuarios llega a saturar el espectro radioeléctrico afectando a las conexiones de largas distancias.

Para mejorar el rendimiento de una red WIFI, se pueden instalar antenas externas.

El modulo ofrece una solución rápida para evitar el uso de una red LAN. [12].

4.3.Motores de corriente continua.

Una gran mayoría de motores utilizados en la industria se conectan de forma directa a las líneas de distribución eléctrica, estas pueden ser energizadas por medio de fuentes de corriente alterna o corriente directa y sus características de operación se mantienen intactas, si la tensión indicada en la placa se mantiene constante, entregando potencia constante.

Las técnicas de control de motores de corriente continua son herramientas que se utilizan para controlar la velocidad, el par y el suministro de potencia de los motores de corriente continua. El control de motores se pueden realizar mediante tiristores. La combinación del motor, los tiristores de control y demás componentes electrónicos asociados son conocidos como el sistema de control de velocidad, sistema de accionamiento o sistema de excitación de motor.

4.3.1. Tipos de motores de corriente continua.

Los motores de corriente continua se clasifican según la forma de conexión de las bobinas inductoras e inducidas entre sí.

- El motor de excitación independiente es tal que el inductor y el inducido se alimentan de dos fuentes de energía independientes.
- El motor serie es tal que los devanados del inductor y del inducido se encuentran en serie.
- El motor Shunt dispone los devanados inductor e inducido en paralelo.
- El motor Compond consta de dos devanados inductores, uno está en serie con el devanado inducido y el otro en paralelo.

Para conocer las características y posibles aplicaciones de cualquiera de estos motores, deben fijarse cada uno de estos parámetros:

- Evolución del régimen de giro (en rpm): es decir, cómo varía la velocidad de giro en diferentes circunstancias.
- Potencia eléctrica absorbida por el motor (en kW): da cuenta del consumo de energía.
- Par motor (en kgf.m): da cuenta de la capacidad de arrastre del motor [13].

4.4. Sistema de Control.

Es un conjunto de dispositivos encargados de administrar, ordenar, dirigir o regular el comportamiento de otro sistema, con el propósito de disminuir las probabilidades de fallo y obtener los resultados deseados. Por lo general, se usan sistemas de control en los procesos de producción industriales para controlar equipos o máquina.

4.4.1. Clasificación de sistema de control.

4.4.1.1. Sistema de control de lazo abierto.

En sistema de control de lazo abierto la salida no tiene efectos sobre el sistema de control en general, eso implica que no hay retroalimentación de dicha salida al controlador para lograr ajustar las acciones de control.

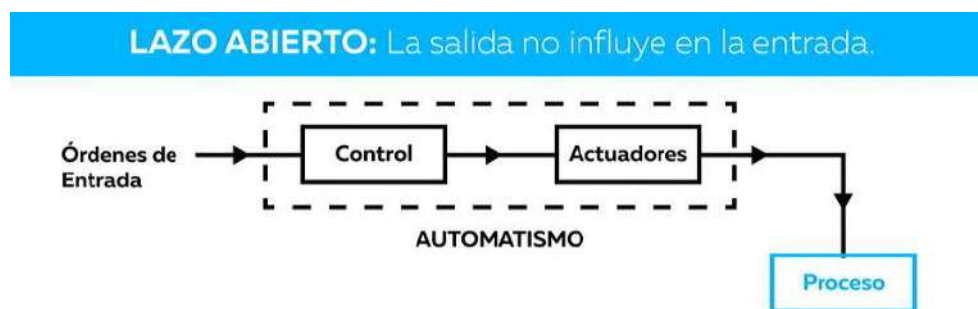


Figura 2. Sistema de lazo abierto.

Este sistema tiene las siguientes características:

- Ser sencillos y de fácil mantenimiento.
- La salida no se compara con la entrada.
- Ser afectado por las perturbaciones. Estas pueden ser tangibles o intangibles.
- La precisión depende de la previa calibración del sistema [14].

4.4.1.2. Sistema de control de lazo cerrado.

En este sistema la acción del control está relacionado directamente con la señal de salida; es decir, en los sistemas de control de lazo cerrado o sistemas de control con realimentación, la salida que se desea controlar se realimenta para compararla con la entrada (valor deseado) y de esa forma si se genera un error que recibe el controlador para decidir la acción a tomar sobre el proceso, con el objetivo final de disminuir los error y por tanto, llevar la salida del sistema al valor deseado.

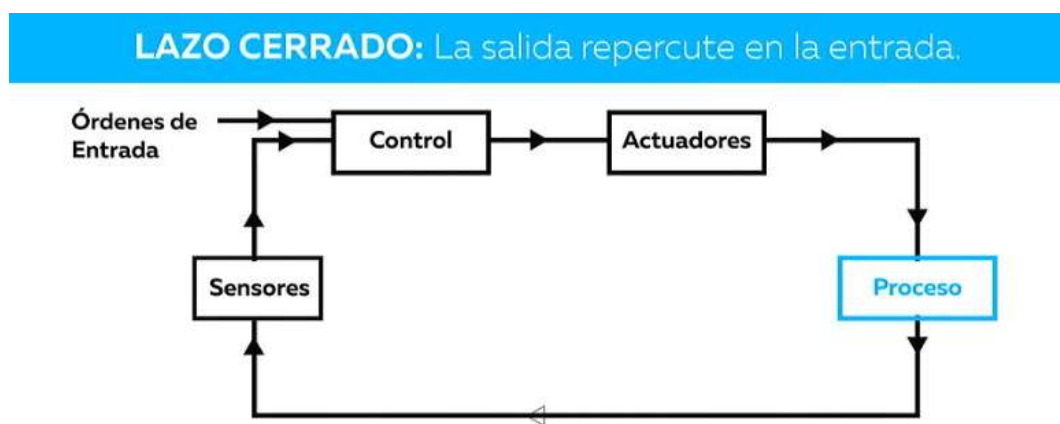


Figura 3. Sistema de lazo cerrado.

Este sistema tiene las siguientes características:

- Ser muy amplios en cantidad de parámetros.
- La salida se compara con la entrada y para realizar el control del sistema.
- Ser más estable a perturbaciones y variaciones internas.
- Un ejemplo de un sistema de control de lazo cerrado sería el termotanque de agua que utilizamos para bañarnos [14].

4.5. Sistema de potencia.

En la actualidad, los procesos industriales dependen cada vez son más de dispositivos y sistemas que utilice la energía eléctrica en una o varias de sus etapas. Estos procesos involucran acciones consisten en procesos que transforman la energía eléctrica en otro tipo de energía, o en el mismo tipo, pero con diferentes características.

Aunque inicialmente las aplicaciones de la electrónica estaban limitadas a técnicas de alta frecuencia, con el tiempo la electrónica industrial fue evolucionando, en estos tiempos ha abierto grandes posibilidades con casi nulas limitaciones.

La electrónica de potencia se compone partes fundamentales que son:

- El circuito de potencia: está compuesta por semiconductores de potencia y los elementos pasivos que conectan la fuente primaria de alimentación con la carga.
- El circuito de mando: por su lado procesa la información del circuito de potencia y genera señales de excitación para controlar los semiconductores de forma adecuada.

La principal característica de la electrónica de potencia es el rendimiento y utiliza semiconductores como interruptores. A diferencia de la electrónica de señales, que se enfocan en las amplificaciones y las ganancias, esta busca la eficiencia en el procesamiento control y conversión de la energía eléctrica.

Los dispositivos de potencia deben contar con dos estados muy bien definidos, alta impedancia o bloqueo y baja impedancia o conductividad, contando con una excelente capacidad de cambiar rápidamente un estado a otro.

La electrónica de Potencia es de vital importancia para las industrias, para las fuentes de alimentación, cargadores de baterías, control de temperatura, variadores de velocidad de motores, entre otros. [14].

4.6. Puente H.

Un Puente en H es un circuito electrónico ampliamente utilizado para controlar la potencia y a su vez el sentido de giro de los motores eléctricos DC. Son ampliamente usados en robótica y como convertidores de potencia. Su nombre proviene de la representación gráfica del circuito que se asemeja a la letra H, este circuito se compone de 4 interruptores de los cuales pueden ser mecánicos o transistores, están dispuesto de tal manera que permitan invertir la polaridad de la tensión aplicada al motor, lo que a su vez determina el sentido de giro del motor.

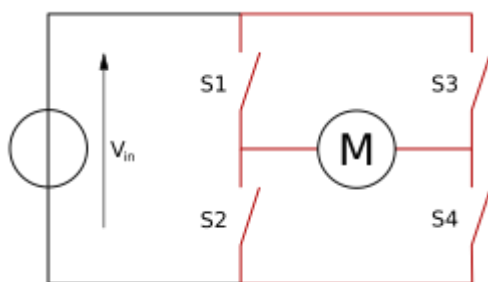


Figura 4. Estructura de un puente H (marcado en rojo).

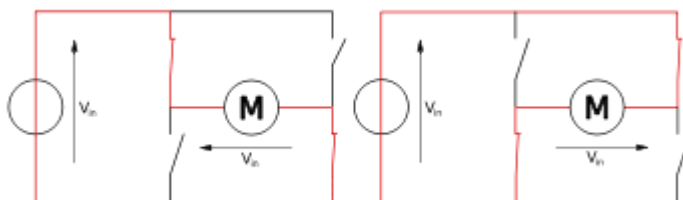


Figura 5. Puente H los 2 estados básicos del circuito.

Para que gire el motor en un sentido, se cierra el interruptor S1 y S4, mientras que el interruptor S2 y S3 se mantienen abiertos. De tal modo al

abrir los interruptores S1 y S4, mientras que los interruptores S2 y S3 se mantienen cerrados el voltaje se invierte y eso hace que el motor cambie de sentido de giro.

Con la nomenclatura utilizada para el puente H, los interruptores S1 y S2 nunca podrán estar cerrados al mismo tiempo, porque esto cortocircuitaría la fuente de tensión. Lo mismo sucede con S3 y S4, esto asegura un control seguro del motor [14].

4.7. Variador de voltaje.

Los motores eléctricos desempeñan un papel muy significativo en nuestras vidas, debido a que están presentes en todas las aplicaciones de nuestro día a día. Estos motores pueden funcionar con energía eléctrica de corriente continua o corriente alterna, de los cuales necesitan una cierta cantidad de energía para poder proporcionar el par y la velocidad necesaria para la cierta aplicación.

Se han desarrollado equipos de variación de velocidad que permitan controlar prácticamente todos los parámetros importantes de los motores, logrado de ese modo una amplia aplicación industrial. Se han desarrollado equipos variadores de velocidad que permiten controlar prácticamente todos los parámetros de los motores.

La velocidad del motor depende de los siguientes parámetros:

$$n = \left(\frac{V_a - I_a r_a}{k I_f} \right)$$

Por lo tanto, el control de la velocidad de un motor DC se logra mediante la variación del voltaje de armadura (V_a) o por variación del flujo magnético del campo (proporcional a I_f). [15].

4.8. Sistema Android.

Android es un sistema operativo versátil diseñado originalmente para dispositivos móviles, pero que actualmente se encuentra presente en una amplia gama de aparatos, desde teléfonos y tabletas hasta ordenadores, televisores, cámaras y más. Incluso se ha adaptado a dispositivos poco convencionales, como microondas y lavadoras.

Este sistema operativo brinda la capacidad de desarrollar aplicaciones mediante una variante de Java denominada Dalvik. Proporciona todas las interfaces esenciales para crear de manera sencilla aplicaciones que aprovechan las funcionalidades del dispositivo, como GPS, llamadas y la agenda, a través del lenguaje de programación Java.

Estas aplicaciones expanden las capacidades de los dispositivos y enriquecen la experiencia del usuario, contribuyendo a la popularidad y diversidad de Android en el mundo tecnológico.

Este tipo de aplicaciones permiten al usuario efectuar un variado conjunto de tareas

- Profesional, de ocio, educativas, de acceso a servicios, etc
- Facilitando las gestiones o actividades a desarrollar [16].

4.8.1. MIT App Inventor.

App Inventor es una plataforma de desarrollo de software creado por Google Labs para la creación y elaboración de aplicaciones destinadas al sistema operativo Android. Se trata de un entorno de programación visual e intuitiva que permite desarrollar aplicaciones móviles completamente funcionales de manera muy sencilla. Funciona con un lenguaje de programación basada en bloques, que facilita la creación de aplicaciones complejas en mucho menos tiempo que los entornos de programación tradicionales.

Aunque las aplicaciones creadas con App Inventor cuentan con ciertas limitadas en cuanto a su simplicidad, son capaces de cubrir una amplia gama de necesidades básicas en dispositivos móviles. Su simplicidad de uso facilita la creación de aplicaciones móviles y mediante la plataforma de Google Play es posibles la difusión de dichos proyectos libremente [16].



Figura 6. Logo del MIT App Inventor.

II. RESUMEN EJECUTIVO.

CAPITULO 5.

5.1.Descripción del trabajo.

El presente proyecto final de grado consistió en el diseño y construcción de una silla de ruedas eléctrica automática con un sistema de control electrónico que facilitará su conducción a través de un mando local y un mando remoto por medio de una aplicación celular, proporcionando los diversos métodos, pasos y técnicas a llevar a cabo para su desarrollo.

5.2.Métodos y Técnicas utilizadas.

Teniendo en cuenta los objetivos trazados y las características del proyecto, se clasifica la investigación como aplicada. El objetivo principal es diseñar un sistema de control electrónico para una silla de ruedas eléctrica automática que pueda ser comandada a través de una aplicación celular. El enfoque de este proyecto es utilizar la tecnología para mejorar la movilidad de las personas en silla de ruedas, garantizando que sea práctica, segura y accesible.

Para recolectar datos, se utilizará la lista de chequeo de archivos de la SENADIS (Secretaría Nacional por los Derechos de las personas con Discapacidad) sede Caaguazú, que proporciona información sobre las dificultades y requisitos de las personas con discapacidad que podrían potencialmente utilizar la silla de ruedas eléctrica automatizada. Además, se recopilará información necesaria a través de libros, paper, artículos web y guías proporcionadas por el tutor.

Se llevarán a cabo las siguientes fases metodológicas para lograr los objetivos establecidos en este proyecto de fin de grado:

Fase I: Relevamiento de Datos.

En esta fase, se llevó a cabo un exhaustivo análisis de las dificultades y limitaciones que enfrentan los usuarios de la silla de ruedas. Además, se examinaron los requisitos fundamentales que las personas con discapacidad que potencialmente podrían utilizar la silla de ruedas eléctrica automática comandada a través de una aplicación celular, deben cumplir. Para lograr esto, se recurrió a la SENADIS para obtener información relevante y se consultó a médicos especializados en la atención de los miembros inferiores. Sin embargo, el aspecto más importante fue la interacción directa con los pacientes, ya que su perspectiva permitió comprender las limitaciones y alcances que el proyecto debería abordar.

Fase II: Definición de funcionalidad y características de la silla de ruedas.

Se determinó algunas funcionalidades que se consideraron durante el desarrollo de esta fase del proyecto, teniendo en cuenta algunos puntos esenciales tales como la movilidad controlada, sistema de control intuitivo, ajuste del asiento y respaldo de la silla de ruedas, sistemas de seguridad como así también el sistema de punto de carga de la batería, entre otros puntos.

Fase III: Selección de dispositivos electrónicos y sistema de potencia.

Se seleccionó dispositivos electrónicos para la comunicación entre la aplicación del sistema operativo Android y el controlador, así también se realizaron distintos cálculos del puente H, variador de velocidad, tipo de baterías y motores a utilizar con un sistema de potencia acorde a la capacidad necesaria, para asegurar que el sistema de control y propulsión de la silla de ruedas sea eficiente.

Fase IV: Diseño y elaboración de Software para el controlador y la aplicación celular.

Se procedió a efectuar el diseño y posterior elaboración de los programas para el controlador utilizando el lenguaje de programación Arduino basado en el lenguaje IDE del Arduino, como así también, el lenguaje de programación para aplicación celular utilizando MIT App Inventor.

Con estas programaciones se logró la comunicar del controlador de la silla de rueda con la aplicación celular por medio de un Sistema de Comunicación Inalámbrica vía Bluetooth.

Fase V: Construcción y realización de pruebas del prototipo.

En esta etapa se procedió a la construcción de un prototipo que integró el sistema desarrollado en las fases anteriores, verificando la viabilidad y eficiencia del sistema implementado. Además, con el prototipo construido se pudo evaluar su desempeño en condiciones reales y realizar las mejoras necesarias para optimizar su funcionamiento adecuado logrando de esa forma una interacción fluida entre el prototipo y el dispositivo móvil.

Fase VI: Elaboración de presupuesto.

Durante el desarrollo de esta etapa, se llevó a cabo la elaboración del presupuesto para la construcción del prototipo de la silla de ruedas eléctrica diseñada, se evaluaron detalladamente los costos asociados a los elementos requeridos para su construcción, incluyendo materiales, componentes electrónicos, sistemas mecánicos y cualquier otro componente necesario. Estimar el costo preciso y realista permitió apreciar los recursos financieros requeridos para llevar a cabo este proyecto de fin de grado.

5.3. Justificación.

En los últimos años se ha abordado el tema de la inclusión social de las personas con discapacidad, impulsando campañas y regulaciones para fomentar su participación en la sociedad y en el ámbito laboral. Sin embargo, las estadísticas revelan que solo un pequeño porcentaje de personas con discapacidad logra acceder a empleos remunerados, lo que indica que muchas de ellas carecen de una fuente de ingreso suficiente para alcanzar una vida óptima. Ante esta realidad, surge propuesta de diseñar un sistema de control electrónico para una silla de ruedas automática que pueda ser comandada a través de una aplicación celular, este sistema permitirá que el usuario pueda desplazarse de manera autónoma.

La fabricación de la silla de ruedas automática propuesta ofrecerá numerosos beneficios a los usuarios, mejorando su capacidad de desplazamiento gracias a los controles intuitivos. Además, contribuirá a prevenir el estrés físico, permitiendo recorrer distancias más largas sin agotarse, lo que promoverá la independencia de las personas con discapacidad.

Todo esto encaminado a la obtención de un producto relativamente económico y compuesto con materiales de comercialización local. Esto facilitará las labores de mantenimiento, reparación y adaptación a las particularidades del usuario.

5.4. Finalidad del proyecto.

El propósito fundamental del proyecto final de grado es desarrollar una herramienta para brindar asistencia a las personas con limitaciones en la movilidad de los miembros inferiores, ofreciendo una solución tecnológica confiable que mejore su calidad de vida. Esta herramienta se centra en facilitar el desplazamiento, permitiendo que el usuario se sienta más independiente y de esa forma logre un mayor desarrollo tanto a nivel personal como profesional.

5.5. Metas.

El proyecto de fin de grado tiene como meta principal el diseño y desarrollo de un sistema de control electrónico para una silla de ruedas eléctrica automática con el fin de mejorar la calidad de vida de las personas con limitaciones en la movilidad de sus miembros inferiores. Además, se busca garantizar la accesibilidad económica del producto utilizando materiales locales y facilitando su mantenimiento y adaptación.

5.6. Objetivos

5.6.1. Objetivos generales

Diseñar un sistema de control electrónico para una silla de rueda eléctrica automática comandada a través de una aplicación celular.

5.6.2. Objetivos específicos

- Recolección de manera sistemática de los datos relacionados con las dificultades y requerimientos específicos de las personas con discapacidad que potencialmente podrían utilizar la silla de ruedas eléctricas automatizada.
- Determinar las funcionalidades y características técnicas necesarias para cumplir con los requisitos de una silla de ruedas eléctrica.
- Identificar y Seleccionar los dispositivos electrónicos apropiados que permitan el control adecuado de los sistemas de motorización.
- Diseñar los sistemas de control necesarios para el funcionamiento óptimo de la silla de rueda eléctrica.
- Realizar simulaciones detalladas del sistema de control en cada una de sus correspondientes etapas.

- Construcción de prototipo de silla eléctrica automatizada y llevar a cabo pruebas exhaustivas de funcionamiento con el fin de verificar su desempeño en general.
- Realizar un presupuesto detallado para el diseño y construcción del prototipo, considerando los costos de sus componentes, y todos los recursos necesarios para su fabricación.

5.7. Beneficiarios.

Los beneficiarios directos de este proyecto de fin de grado son las personas con discapacidad que presentan limitaciones en la movilidad de sus miembros inferiores. El Dispositivo les brindará una solución tecnológica confiable y segura aportando así a su desarrollo personal, social y profesional.

5.8. Producto.

El producto de este trabajo es diseñar y construir un prototipo de silla de ruedas eléctrica para personas con discapacidad motriz en miembros inferiores que les permitirá mejorar su calidad de vida, promoviendo su independencia y bienestar personal.

5.9. Localización física y cobertura espacial

El proyecto se desarrolla en la ciudad de Coronel Oviedo ubicado en el quinto departamento Caaguazú.

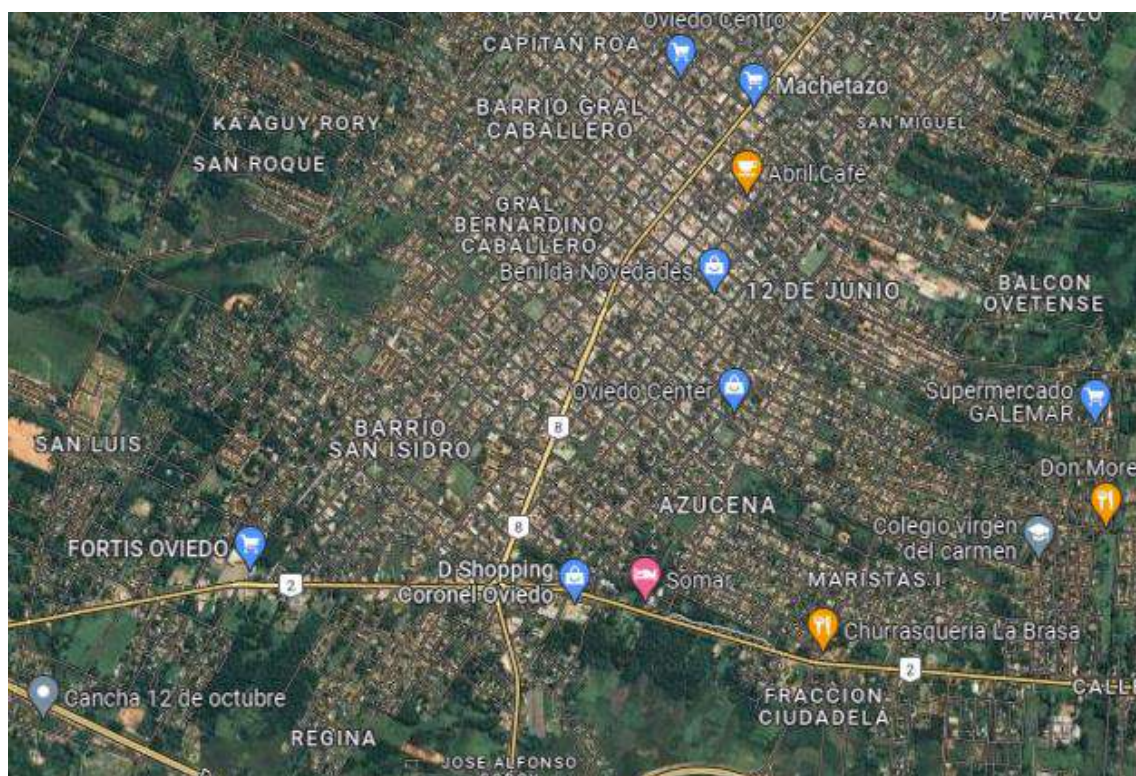


Figura 7. Ciudad de Coronel Oviedo, vista satelital.

5.10. Especificaciones de actividades y tareas realizadas

- Relevamiento de datos de las necesidades y requerimientos específicos de las personas con discapacidad en miembros inferiores.
- Revisión bibliográfica sobre los prototipos y de silla de ruedas automática producidas en masa disponibles en el mercado.
- Relevamiento de los materiales y componentes disponibles en la región para la fabricación del prototipo.
- Revisión bibliográfica de los distintos tipos de microcontroladores y software utilizados en la creación de aplicaciones móviles.
- Selección de los microcontroladores a utilizar en el prototipo.
- Estudio del software Proteus para el ideal diseño del prototipo.
- Familiarización con los lenguajes de programación del App Inventor (MIT) y Arduino.
- Revisión técnica del diseño de la arquitectura del prototipo a implementar.

- Construcción y realización de pruebas de funcionamiento del prototipo.
- Elaboración del presupuesto para la construcción del prototipo.

5.11. Factibilidad técnica.

La factibilidad técnica del diseño y desarrollo del prototipo de la silla de ruedas eléctrica automatizada es muy alta, esto se debe a que está respaldada por avances tecnológicos, disponibilidad de materiales y herramientas de diseño que ayudan a disminuir los costos de manera a que llegue a la mayor cantidad de personas con limitaciones en la movilidad de miembros inferiores a adquirir este prototipo. La clave para el éxito de este proyecto es la revisión exhaustiva de las necesidades de los usuarios y el uso de tecnologías adecuadas garantizarán un producto eficiente, seguro y de muy buena calidad.

5.12. Factibilidad económica.

En este apartado se presenta el presupuesto total que llevo a desarrollar el prototipo de forma exitosa, se tuvieron en cuenta los costos de los recursos utilizado como los materiales, recursos técnicos y mano de obra invertida, tanto para el desarrollo como para así también la ejecución del proyecto.

En la siguiente tabla se observa los costos respectivos de cada aspecto que pertenecen a la evaluación económica.

PRESUPUESTO		
ITEM	DESCIPCION	PRECIO
1	Arduino 1	\$ 150.000
2	Modulo BLUETOOTH HC-06	\$ 60.000
3	Arduino D1 WIFI ESP	\$ 150.000
4	2 BATERIA CSB AGM 12V 12AH	\$ 720.000
5	Cargador de batería.	\$ 350.000
6	2 Motores modelo PEWM28M	\$ 2.500.000
7	Modulo controlado de motor dc	\$ 50.000
8	Modulo sensor joystick ky-023 dual	\$ 40.000
9	Cruz control para manejo	\$ 50.000
10	Modulo acelerómetro y giroscopio MPU6050	\$ 60.000
11	Cables para conexonado	\$ 20.000
12	Ficha de conexión de 8 conductores	\$ 10.000
13	Placa protoboard	\$ 90.000
14	Voltímetro digital	\$ 120.000
15	Regulador de voltaje de 9V DC	\$ 80.000
16	Cuadro básico para silla de ruedas	\$ 550.000
17	Modificaciones y adaptaciones	\$ 500.000
TOTAL		\$ 5.500.000

Tabla 4. Costo del prototipo.

El presupuesto necesario para la elaboración del proyecto de fin de grado es de un total de \$ 5.500.000, con esto se verifica que el prototipo tiene un costo inferior a los productos similares que se pueden encontrar en el mercado local e internacional.

III. INGENIERÍA DE DISEÑO

CAPÍTULO 6

6.1. RELEVAMIENTO Y RECOLECCIÓN DE DATOS.

6.1.1. Estudio de la ruta de movilidad.

La ruta de movilidad para una persona con discapacidad motora en miembros inferiores quienes depende de una silla de ruedas para desplazarse de un lugar a otro, presenta una serie de desafíos y una amplia cantidad de obstáculos que debe superar. Estas personas enfrentan múltiples dificultades al intentar moverse fuera de sus hogares, ya sea por las calles de la ciudad o en predios públicos o privados en donde las normas de accesibilidad para las personas con discapacidad no se tuvieron en consideración.

6.1.1.1. Obstáculos de las posibles rutas de movilidad.

En esta sección se presentan algunos de los numerosos obstáculos existentes en la ruta de movilidad de una persona con discapacidad que utiliza sillas de ruedas como medio de transporte, los cuales pueden obstruir el paso parcial o completamente:

- En el entorno urbano actual, es frecuente ver en las calles la presencia de obstáculos que dificultan el paso peatonal, por ejemplo, los negocios que exhiben sus productos en la vereda obstruyen completamente el paso produciendo obstáculos difíciles de sortear especialmente para las personas en silla de ruedas, los cuales deben de desviar por otros caminos o utilizar la calle para desplazarse, esto implica un riesgo adicional y mayor complejidad para su movilidad.
- En nuestro país es muy común encontrarse con veredas muy irregulares y desniveladas que también resultan un gran obstáculo a la hora de desplazarse con la silla de ruedas.

- La falta de rampas de acceso y descenso en las aceras, como así también en los edificios o establecimientos comerciales.
- La falta de amplitud de los corredores o pasillos en espacios públicos que dificultan la maniobrabilidad de la silla de ruedas.
- También están los vehículos estacionados de manera inapropiada en las veredas.

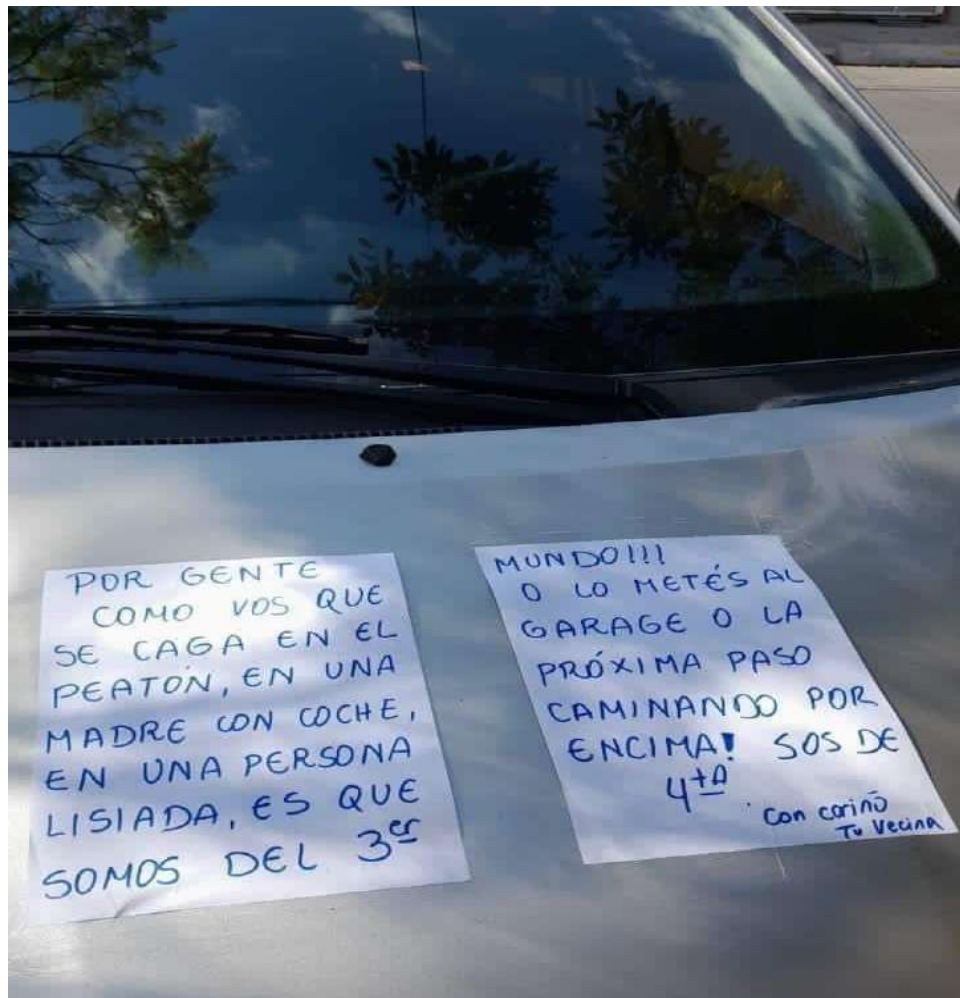


Figura 8. Vehículos mal estacionados en la vereda.

6.1.2. Identificación de los requerimientos.

Los principales requerimientos de los posibles usuarios para la implementación de este proyecto se han identificado en base a las entrevistas realizadas a profesionales y directivos de la Secretaria Nacional por los Derechos Humanos de las personas con Discapacidad (SENADIS) filial Coronel Oviedo-Caaguazú, como así también a pacientes que son posibles usuarios de este proyecto de fin de grado, a partir de estas consultas se han obtenido las siguientes recomendaciones:

- Los usuarios de silla de ruedas manifestaron el gran esfuerzo físico que implica el desplazamiento utilizando únicamente la fuerza de los brazos.
- La silla de ruedas debe contar con un sistema de manejo fácil e intuitivo.
- Tienen mucho interés y entusiasmo en experimentar con una silla de ruedas automática que reemplace el modelo convencional.

Después de considerar los fundamentos teóricos y entrevistas realizadas se determinó las funcionalidades que deben tener las sillas de ruedas automática:

- El sistema de control debe proporcionar opciones de movilidad para el paciente a través de los controles locales como remotos.
- La aplicación móvil debe contar con una interfaz intuitiva y completa para el manejo preciso de todas las funciones de la máquina.
- El sistema debe poseer la capacidad de ajustar la velocidad de desplazamiento de tal forma a adaptarse a diferentes entornos.
- El sistema debe contar con un sistema de seguridad, con frenos automáticos y funciones de bloque.
- Contar con un prototipo de fácil mantenimiento.
- La necesidad de disponer de una batería de larga duración que permita una autonomía suficiente, además de contar con un indicador claro del nivel de batería para la buena administración de este recurso.
- El sistema debe contar con un sistema de carga de baterías

- El prototipo debe tener un indicador de nivel de baterías.

6.2. CARACTERÍSTICAS DEL PROTOTIPO DE LA SILLA DE RUEDAS.

6.2.1. Dimensionamiento del prototipo.

El dimensionamiento de la silla de ruedas se realiza cuidadosamente para garantizar la comodidad, seguridad y accesibilidad de los usuarios, teniendo en cuenta las recomendaciones y estándares internacionales en términos de dimensiones ergonómicas. En la siguiente tabla se puede apreciar las medidas finales requeridas para la implementación del prototipo:

Medida Antropométrica	Nombre de las magnitudes de la silla de ruedas	Valor numérico para el diseño en centímetros
Altura codo – asiento	Altura de Apoya brazos- asiento	22
Anchura de caderas sentado	Ancho asiento	51
Altura Subescapilar	Altura máxima asiento borde superior del respaldo	35
Altura Popiteo	Altura asiento- suelo	32
Distancia Sacro Popiteo	Profundidad del asiento	41
Altura Lliocrestal	Altura mínima asiento borde inferior del respaldo	22
Distancia codo-codo	Separación entre apoya brazos	51
Altura de hombros	Comprobación de la altura del asiento	69
Anchura de hombros	Comprobación del ancho de los asientos	56
Profundidad de pecho	Diseño de seguridad del pecho	19

Tabla 5. Medidas finales del prototipo.

6.2.2. Dimensionamiento del peso total.

Para la puesta en marcha la silla de ruedas necesita de una cierta cantidad de energía en los motores para hacer girar las ruedas e impulsar la silla, para dimensionar la cantidad de energía necesaria hay que tomar en cuenta el

peso de todos los componentes que integran la silla de ruedas incluyendo el paciente, sistemas mecánicos, eléctricos, electrónicos, etc.

El peso total que se necesita mover se calcula en Newton, que es la unidad de fuerza en el Sistema Internacional de Unidades y se define como la fuerza que aplicada durante un segundo a una masa de 1 kg incrementa su velocidad en 1 m/s.

Descripción	Peso [N] (masa X gravedad)
Peso del paciente	823.2 [N] Peso de los autores del proyecto
Motores	20 N
Sistema mecánico	557,77 N
Sistema de control	9,8 N
Baterías	90,16 N
Total	1.500,93N

Tabla 6. Peso total del prototipo.

6.2.3. Dimensionamiento de la potencia en estado de reposo.

Para dimensionamiento de la potencia se muestra a continuación el siguiente diagrama de cuerpo libre.

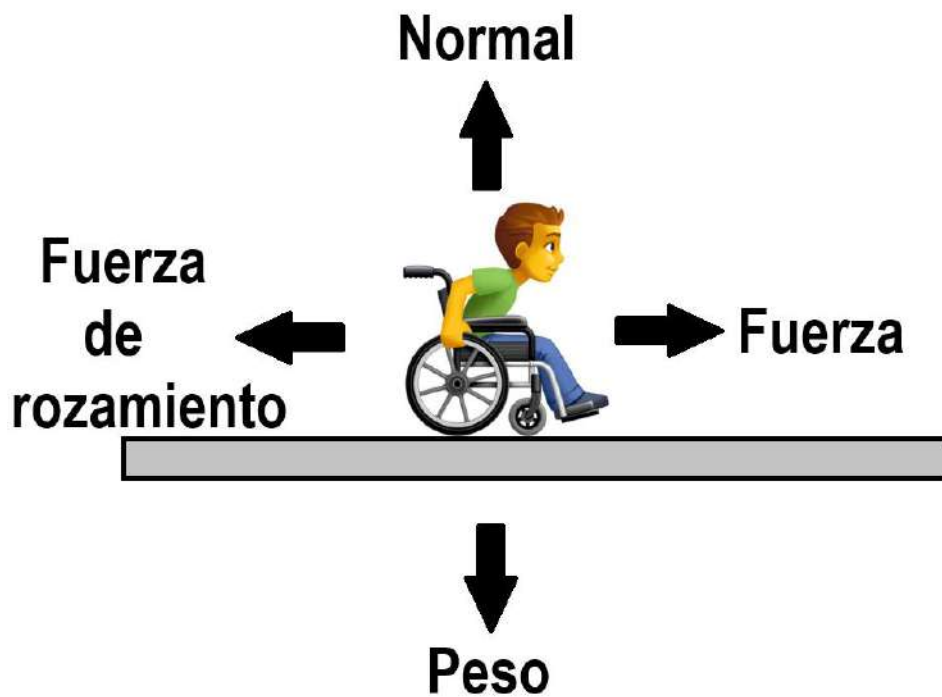


Figura 9. Diagrama de fuerzas en un cuerpo libre.

Sumatoria de fuerzas en el eje "X".

$$\sum F_x = 0$$

$$F - F_r = 0$$

$$F = F_r$$

Donde:

$\sum F_x$: es la sumatoria de fuerzas en el eje "X"

F: es la fuerza aplicada de manera paralela al eje "X"

F_r : es la fuerza de rozamiento y es opuesto a la fuerza F

Para el cálculo de la fuerza de rozamiento se toma en cuenta la ecuación siguiente:

$$F_r (\text{máx.}) = \mu_e \times N$$

Donde:

μ_e : es el coeficiente de rozamiento estático, 1 para el material que se utiliza en las ruedas de la silla.

N: Reacción normal entre los cuerpos en contacto.

$$Fr (\text{máx.}) = 1 \times N \quad \text{Ec. (1)}$$

Sumatoria de Fuerzas en el eje "Y".

$$\sum F_y = 0$$

$$W - N = 0$$

$$W = N$$

W = (total del peso de la silla + el usuario)

Sustituyendo en la ecuación (1) se tiene que:

$$Fr (\text{máx.}) = 1 \times N$$

$$Fr (\text{máx.}) = 1 \times (1.500,93)$$

$$Fr (\text{máx.}) = 1.500,93 \text{ N}$$

Donde:

Fr (máx.): es la fuerza máxima para mover la silla de ruedas en cualquier dirección del plano no inclinado.

6.2.4. Dimensionamiento de la potencia requerida para ejes inclinados.

Para un mejor dimensionamiento de potencia de los motores se tienen que realizar los cálculos en un plano inclinado según las normativas que rige la Guía Básica de Accesibilidad al Medio Físico para las personas con discapacidad establecida por la SENADIS, INTN, Jica.

6.2.5. Características generales de las rampas.

A continuación, se muestran las dimensiones mínimas y las características generales que deben cumplir las rampas que se construyan en espacios abiertos y en edificaciones para facilitar el acceso a personas con silla de ruedas.

Según la Norma PNA 45 006 10, además del estacionamiento para las personas con discapacidad, se debe tener un itinerario accesible desde el mismo hacia el edificio. En caso de que exista un desnivel entre el nivel del piso del estacionamiento hacia el edificio, deben colocarse rampas.

Muchas veces se coloca una rampa muy empinada y la persona usuaria de silla de ruedas no puede subirse y bajarse sola; esto también requiere de mucha energía para poder accionar los motores y desplazar la silla de ruedas por lo tanto se debe tener en cuenta la pendiente apropiada. La rampa debe tener las medidas siguientes:

Ancho mínimo: 90 cm (0,9 m).

Largo de la rampa: depende del desnivel a salvar.

Desnivel a salvar	Pendiente máxima	Cada 100 cm (1 m) sube	Largo de la rampa
De 80 cm a 90 cm	6 %	6 cm	De 1,000 cm (10 m) a 1,500 cm (15 m)
De 30 cm a 80 cm	8 %	8 cm	De 300 cm (3 m) a 1,000 cm (10 m)
De 18 cm a 30 cm	10 %	10 cm	De 150 cm (1,5 m) a 300 cm (3 m)
Menos de 18 cm	12 %	12 cm	De 150 cm (1,5 m) o menos

Tabla 7. Pendiente máxima y largo de rampa según el desnivel a salvar.

6.2.5.1. Determinar el largo de la rampa según el desnivel a salvar.

Para el análisis de este proyecto se tendrá en cuenta el valor más pronunciado de inclinación de una rampa que es del 8% hasta los 3 metros.

$$\begin{aligned} \text{Tg } (\alpha) &= 30/300 \\ (\alpha) &= \text{arc tang } (0.1) \\ (\alpha) &= 5.71^\circ \end{aligned}$$

Donde:

(α): es el ángulo de elevación de la rampa de acceso

De esta manera utilizando las funciones trigonométricas se obtiene el ángulo de elevación máxima de una rampa en Paraguay.

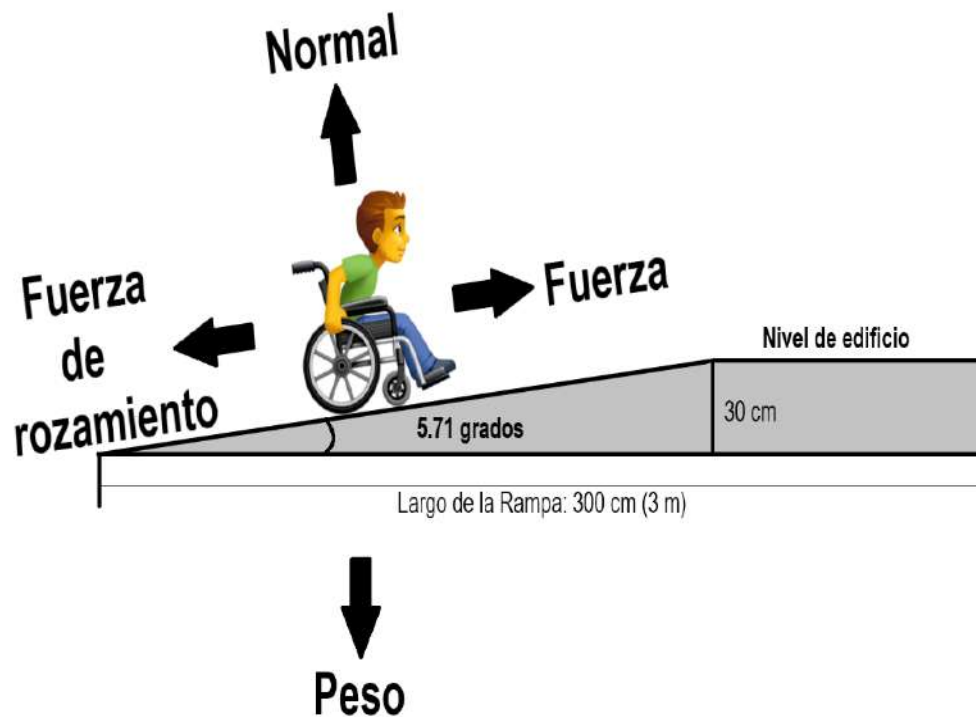


Figura 10. Diagrama de cuerpo libre para el análisis de fuerzas de una pendiente con elevación.

Análisis de fuerzas en el eje "X"

$$\sum F_x = 0$$

$$F - F_r - w_x = 0$$

$$F = F_r + w_x$$

$$F = \mu_c \times N + W \times \text{sen}(\alpha)$$

Donde:

$\sum F_x$: es la sumatoria de fuerzas en el eje X

F: es la fuerza aplicada paralela al eje X

F_r : es la fuerza de rozamiento

w_x : es la componente en x del peso del paciente

Sumatorias de fuerzas en "Y"

$$\sum F_y = 0$$

$$N - w_y = 0$$

$$W_y = N$$

$$N = w \times \cos(\alpha)$$

$$N = 1.500,93 \times \cos(5.71)$$

$$\mathbf{N = 1.493,48}$$

$$F = \mu_c \times N + W \times \sin(\alpha)$$

$$F = 1 \times 1.493,48 + 1.500,93 \times \sin(5.71)$$

$$\mathbf{F = 1.642,81 \text{ N}}$$

Esta fuerza obtenida es la requerida para que la silla de ruedas pueda subir una pendiente según la guía básica de accesibilidad al medio físico (SENADIS).

6.2.6. Calculo del torque requerido.

Se tiene que 1.642,81N es la mayor fuerza que se tiene que aplicar para que la silla de ruedas pueda desplazarse sobre una rampa, por lo tanto, cada motor tendrá que aplicar una fuerza de 821,405 N. Si transformamos esta fuerza en KGF obtenemos 83.759 KGF.

Para obtener el torque de cada motor se debe multiplicar por el diámetro de la rueda, siendo para este prototipo una rueda de 0.304 metros.

Cada motor deberá tener un torque de 25,462 Nm.

6.2.7. Parametrizar la velocidad.

La velocidad lineal máxima de una silla de ruedas está determinada por la capacidad de revoluciones de los motores y el diámetro de las ruedas. En este caso particular, los motores operan a un máximo de 4600 ± 100 rpm, con una relación de reducción de 32:1, lo que resulta en una velocidad de salida de 143,75 rpm en el eje. Las ruedas de la silla tienen un diámetro de 12 pulgadas, equivalentes a 30,4 centímetros. Estas especificaciones técnicas son fundamentales para calcular y ajustar la velocidad máxima que puede alcanzar la silla de ruedas, asegurando un desplazamiento seguro y eficiente para el usuario.

Para hallar la velocidad lineal se tiene la ecuación:

$$V = \omega r$$

Donde:

ω : es la velocidad angular, está dada en rad/ seg y r en metros.

Transformando la velocidad angular, de revoluciones por minutos, a radianes/ segundos, se obtiene:

$$\omega = 143,75 \frac{rev}{1min} * \frac{1min}{60 seg} * 2\pi \frac{rad}{1 rev} = 4,71917 \pi \frac{rad}{seg}$$

teniendo los datos en sus respectivas unidades a continuación se calculan la velocidad lineal obtenida en metros/ segundos.

$$V = 4,71917 \pi \frac{rad}{seg} r \times 0,1524m = 2,294 \frac{m}{seg}$$

Por último, dejamos la expresión en kilómetros/hora:

$$V = 2,294 \frac{m}{seg} \times \frac{3600 seg}{1 h} \times \frac{1 km}{1000m} = 8,26 km/h$$

6.2.8. Calculo de la bateria.

6.2.8.1. La Autonomia de la bateria.

Es esencial determinar el tiempo estimado en el que la batería de la silla de ruedas proporcionará energía suficiente para el funcionamiento, tomando en cuenta el consumo de corriente de la silla y la eficiencia de la batería. De esta manera, se puede determinar con precisión la duración de la batería y planificar su recarga o reemplazo de manera oportuna. Es importante tener en cuenta estos cálculos para garantizar una movilidad continua y sin interrupciones para el usuario

Para determinar el tiempo de funcionamiento de la batería en horas de trabajo, se utiliza la siguiente ecuación, considerando la velocidad máxima al 100%:

$$T = \frac{P_b}{P_c}$$

Donde:

P_b: es la Potencia de la batería y se calcula V_b × I_b

P_c: es la Potencia del circuito y se calcula V_c × I_c

Teniendo los datos en sus respectivas unidades a continuación se calcula el tiempo en horas para un nivel de 100% de la potencia del circuito.

$$T = \frac{P_b}{P_c}$$

$$T = \frac{24\text{ v} \times 15\text{ Ah}}{24\text{ v} \times 6\text{ A}}$$

$$T = \frac{360\text{ Wh}}{144\text{ W}} = 2,5\text{ horas.}$$

Para hallar el tiempo en Horas de trabajo de la batería se tiene la ecuación, teniendo en cuenta el 83,3% de la potencia del circuito.

$$T = \frac{P_b}{P_c}$$

$$T = \frac{24\text{ v} \times 15\text{ Ah}}{20\text{ v} \times 5,5\text{ A}}$$

$$T = \frac{360\text{ Wh}}{110\text{ W}} = 3,27\text{ horas}$$

Para hallar el tiempo en Horas de trabajo de la batería se tiene la ecuación, teniendo en cuenta el 66,6% de la potencia del circuito

$$T = \frac{P_b}{P_c}$$

$$T = \frac{24\text{ v} \times 15\text{ Ah}}{16\text{ v} \times 5\text{ A}}$$

$$T = \frac{360\text{ Wh}}{80\text{ W}} = 4,5\text{ horas}$$

Nivel de velocidad	Voltaje	Nivel de batería	Velocidad	Autonomía
Máxima	24 v	100%	8,26 km/h	20,65 km
Media	20 v	100%	6,88 km/h	22,46 km
Baja	16 v	100%	5,5 km/h	24,75 km

Tabla 8. Resumen de las velocidades con sus respectivas autonomías.

6.2.8.2. Tiempo de carga de la batería.

El tiempo de carga (T_c) es igual a la capacidad de la batería dividida entre la capacidad del cargador por lo tanto tenemos la siguiente ecuación:

$$T_c = \frac{P_{batería}}{P_{cargador}}$$

$$T_c = \frac{V_{batería} \times I_{batería}}{V_{cargador} \times I_{cargador}}$$

$$T_c = \frac{24\text{ v} \times 15\text{ Ah}}{24\text{ V} \times 5\text{ A}}$$

$$T_c = \frac{360\text{ Wh}}{120\text{ W}} = 3\text{ horas.}$$

6.3. SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS ELECTRONICOS Y SISTEMAS DE POTENCIA.

A continuación, se puede observar la propuesta en diagrama de bloques el sistema de control electrónico y todos sus elementos con que deben contar el prototipo para lograr que la silla de rueda consiga ser motorizada.

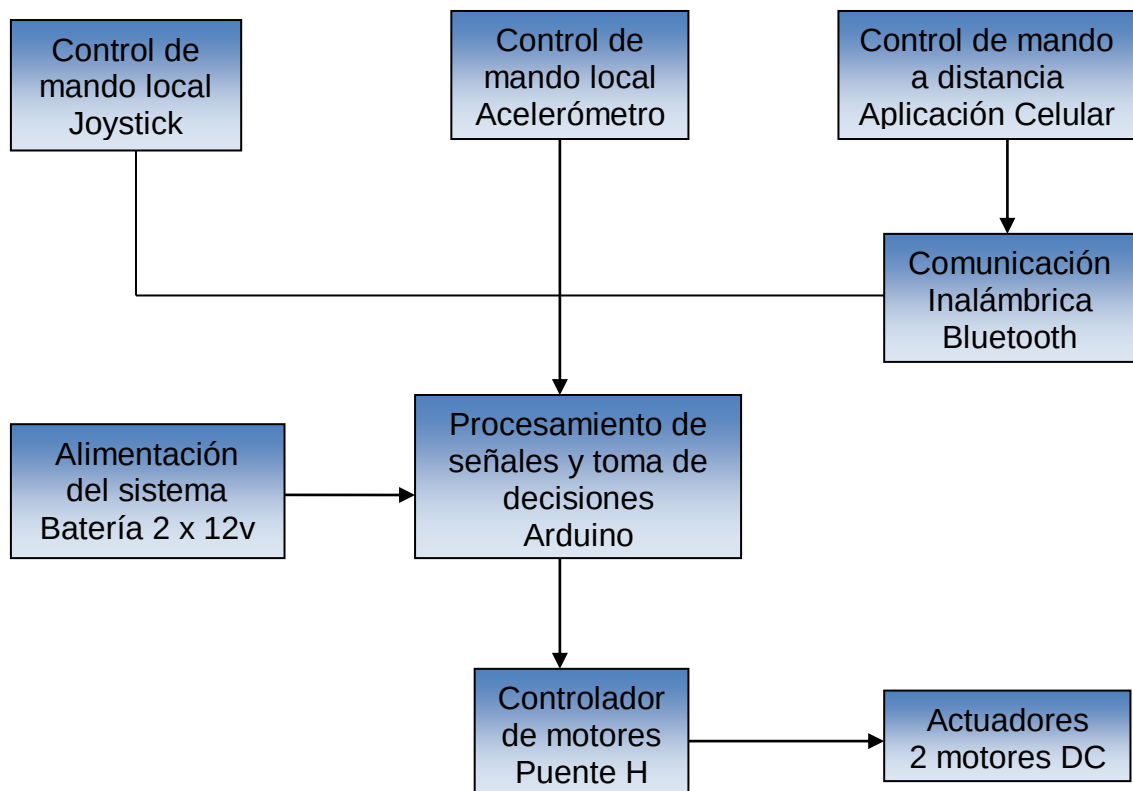


Figura 11. Diagrama de bloques de todo el sistema de control para la silla de ruedas.

Seguidamente se presentan las razones por las cuales se eligieron los dispositivos mencionados en el diagrama de bloques y su respectivo software. Se seleccionan estos componentes debido a que son los que mejor se adaptan a las necesidades del proyecto. Se consideraron las ventajas y el

modo de funcionamiento de cada componente electrónico seleccionado para garantizar un sistema de control óptimo en el diseño final del prototipo.

6.3.1. Arduino.

Arduino es una compañía especializada en el desarrollo de hardware y software de código abierto. Sus productos se basan en placas electrónicas que incorporan microcontroladores reprogramables capaces de detectar y controlar objetos del mundo real. La facilidad de conexión entre el microcontrolador y los actuadores y sensores mediante cables dupont es una de las principales ventajas de este dispositivo.

Una de las fortalezas de Arduino es ser de código abierto, se puede construir una amplia variedad de proyectos y es compatible con múltiples plataformas informáticas, como Windows, Mac OS y Linux. Además, cuenta con una comunidad activa que genera una gran cantidad de documentación para satisfacer casi cualquier necesidad.

El lenguaje de programación de Arduino, basado en C++, es fácil de comprender y ofrece una entrada intuitiva para que los programadores aprovechen todo su potencial y lo adapten a cualquier situación. La placa Arduino tiene un costo asequible, su diseño permite un montaje y desmontaje sencillo de los componentes externos.

Dentro de la amplia gama de productos Arduino, se seleccionó el Arduino 1 y el Arduino WEMOS D1 WIFI ESP8266 ESP-12F CH340 para este proyecto debido a que cumple con los requisitos necesarios en términos de cantidad de entradas digitales y analógicas.

A continuación, se presenta las especificaciones técnicas de ambos productos:

Especificación Técnica	Valor
Microcontrolador	ATmega328P
Voltaje de Operación	5V
Voltaje de Entrada	7-12V (recomendado), 6-20V (límite)
Pines Digitales	14 (6 PWM)
Pines Analógicos	6
Corriente por Pin	40 mA
Corriente Total del Microcontrolador	200 mA
Memoria Flash	32 KB (0.5 KB usado por bootloader)
Memoria SRAM	2 KB
Memoria EEPROM	1 KB
Reloj de Operación (Clock)	16 MHz
Interfaces de Comunicación	UART, SPI, I2C, USB
Longitud y Ancho	68.6 mm x 53.4 mm
Peso	25 g

Tabla 9. Especificaciones técnicas del Arduino UNO.

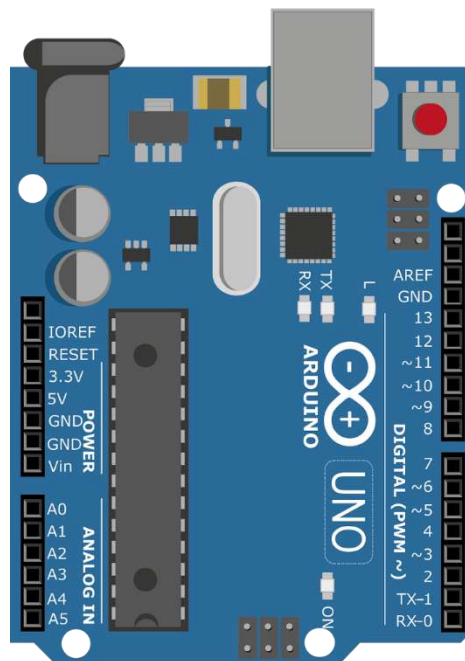


Figura 12. Arduino UNO.

Especificación Técnica	Valor
Microcontrolador	ESP8266 (ESP-12F)
Velocidad de Operación	Hasta 80 MHz
Voltaje de Operación	3.3V
Pines Digitales	11 (GPIO)
Pines Analógicos	1 (entrada solamente)
Corriente por Pin	12 mA (máximo)
Memoria Flash	4 MB (32 Mbit)
Memoria RAM	80 KB
Interfaces de Comunicación	UART, SPI, I2C, WiFi
Conectividad WiFi	802.11 b/g/n (2.4 GHz)
Conector USB	Micro USB (CH340 para comunicación)
Longitud y Ancho	68.6 mm x 53.4 mm
Peso	25 g

Tabla 10. Especificaciones técnicas del WEMOS D1 WIFI ESP.



Figura 13. WEMOS D1 WIFI ESP.

6.3.2. Alimentación del sistema.

La alimentación del sistema debe adaptarse a las especificaciones del proyecto, el cual debe poseer la capacidad necesaria para suministrar energía de manera eficiente a los dispositivos de potencia y al sistema de control, logrando así desempeñar sus funciones correctamente.

Con el fin de satisfacer estas necesidades, se han seleccionado dos baterías GP 12120 F2 de 12V y 12 Ah. Estas baterías son de uso general y se caracterizan por su duración prolongada, con una vida útil diseñada para alcanzar hasta 5 años de servicio. Además, son recargables, altamente eficientes debido a su ciclo de carga y descarga mejorado, y están diseñadas para ser a prueba de fugas y lo mejor de todo no requerir mantenimiento alguno.



Figura 14. Batería utilizada en el proyecto GP 12120 F2.

6.3.3. Cargador de batería de 12v.

Es un dispositivo capaz de recargar la batería descargada y de desconectar automáticamente cuando esté completada la carga correspondiente. Este aparato cuenta con un circuito que va conectado directamente a la red eléctrica, que pasa por un transformador reductor de tensión, a continuación, se lleva a cabo un proceso de rectificación, haciendo circular una corriente continua de tensión ligeramente superior a la batería misma, pero en sentido opuesto al de la corriente de descarga de la corriente necesaria para alimentar las baterías.



Figura 15. Cargador de Batería.

6.3.4. Motores modelo PEWM82M.

Estos motores electricos son una elección optima debido a que son diseñados especialmente para la utilizacion en silla de ruedas, debido a la estructura fisica cilindrica que incorpora un freno electromagnetico y ofrece una potencia de 320W.

Se trata de motores DC de 24 voltios con escobillas, esta incorporada con una caja reductora mediante engranajes , esto permite reducir la velocidad de entrada proveniente del eje del motor electrico y obtener al eje de salida una menor velocidad pero con un alto valor de torque.

Además, estos motores estan equipados con una palanca que le permite desacoplar el eje de salida de la caja reductora, logrando de ese modo que

la silla sea impulsada manualmente sin la asistencia del motor, cumpliendo con estas características son perfectos para la aplicación en silla de ruedas.

Estos motores cuentan con una ranura de soporte para acoplarse a la estructura de la silla lo cual debe ser tipo tubo circular.



Figura 16. Motores Modelo PEWM82M.

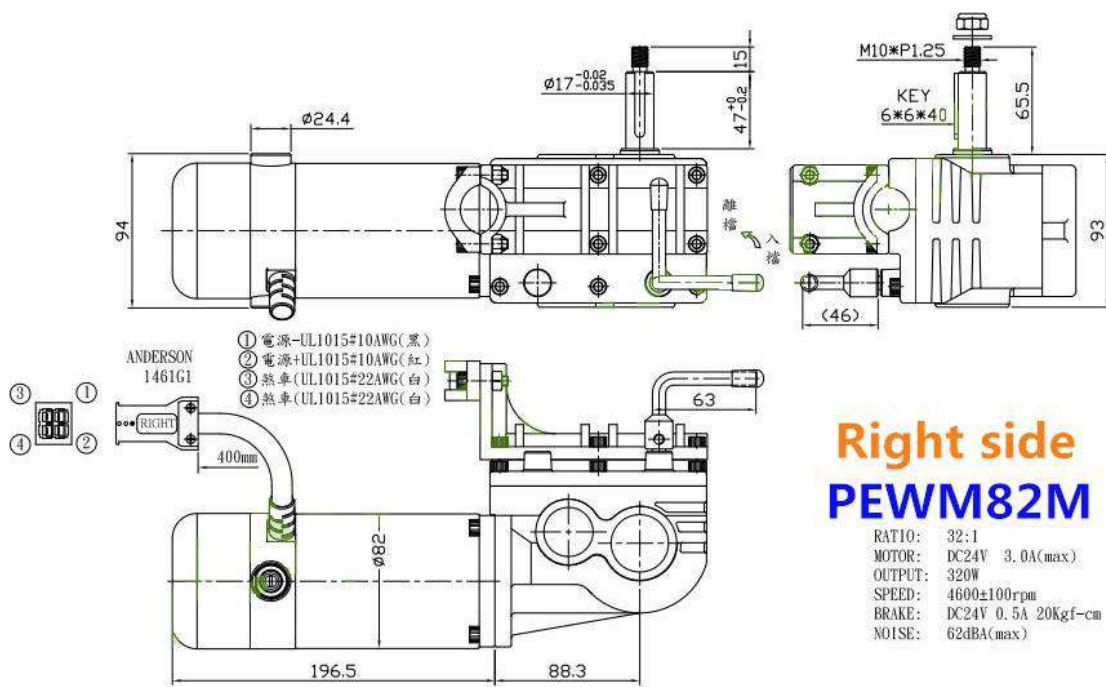


Figura 17. Medidas de motor lado derecho.

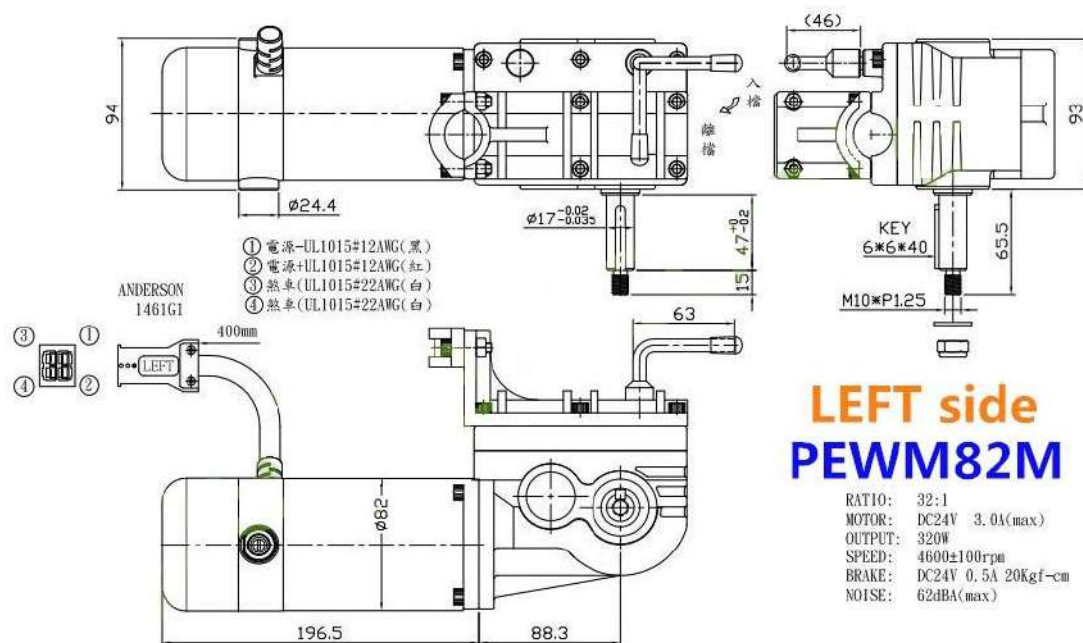


Figura 18. Medidas de motor lado izquierdo.

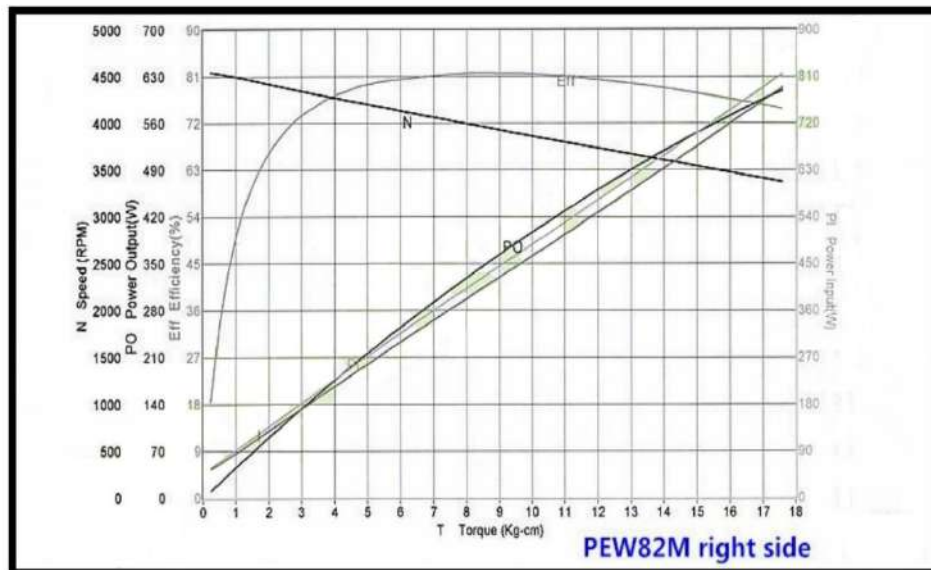


Figura 19. Relación de potencia, torque y velocidad de los motores PEWM82M.

6.3.5. Modulo controlador de Motor DC.

En el presente proyecto es fundamental el control de la velocidad y dirección de giro de los motores DC ya que es el medio propulsor de la silla de ruedas, de esto depende la dirección de avance o retroceso. El modulo controlador elegido tiene la capacidad de controlar la velocidad del motor y el sentido de giro mediante un puente H.

La interfaz de control es muy sencilla y se representa en la tabla siguiente:

A1	A2	Función
0	0	Freno
1	0	Rotación hacia adelante
0	1	Rotación inversa
1	1	Estado no definido (N/A)

Tabla 11. Funcionamiento de la Interfaz de control.

PA es la entrada PWM (ajuste de velocidad del motor); G es para el pin de tierra común de la placa de control (El canal B se controla de la misma manera)

Los microcontroladores de 3,3 V y 5V pueden controlar este módulo, y solo necesitan una potencia de motor (12V ~ 30V).

A continuacion se presentan las caracteristicas tecnicas del modulo:

- El optoacoplador de 10m de alta velocidad se utiliza para aislar la señal de entrada, evitando eficazmente la interferencia de la placa controladora a la placa de control, haciendo el sistema más estable y confiable.
- Ideal para competencias de robots, competencias de automóviles, etc.
- Los componentes básicos del cuerpo del módulo de accionamiento son parches, que tiene un alto grado de integración.
- Diseño bien diseñado, tamaño hermoso y pequeño, dos motores de CC de alta potencia integrados.

- El gran disipador de calor puede disipar eficazmente el módulo de accionamiento con alta corriente y mantener la buena estabilidad del módulo.
- Al conducir el motor, la corriente nominal máxima del módulo puede alcanzar los 60A, y la resistencia de encendido es de solo 0.003Ω.
- Alta frecuencia de conmutación, hasta 60KHZ.

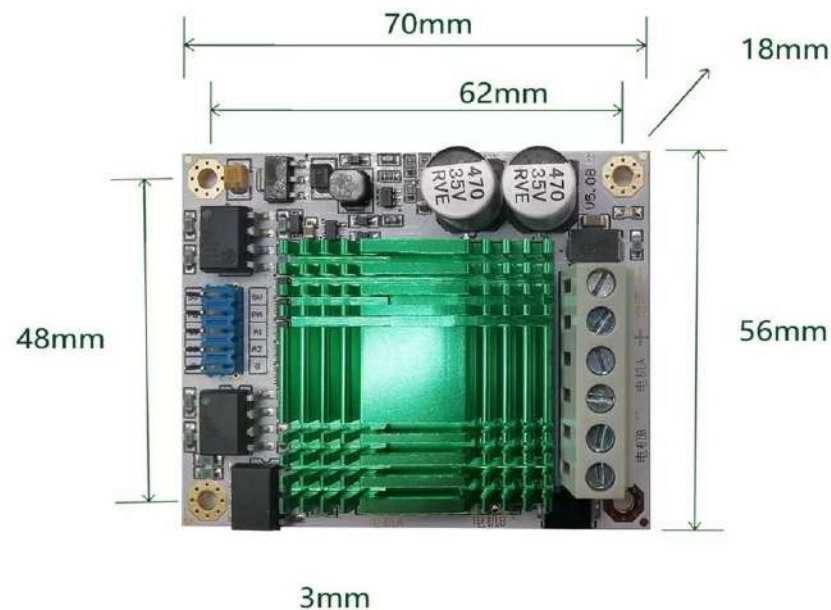


Figura 20. Modulo controlador de Motor DC.

6.3.6. Mando local.

Para cumplir con los requerimientos del proyecto, se seleccionó un dispositivo de cruz control con botones para el control local del prototipo.

La cruz control es comúnmente utilizado para controlar videojuegos. Estos consisten en una base y botones que se pueden utilizarse para moverse en cualquier dirección.



Figura 21. Botón para mando local.

6.3.7. Módulo Acelerómetro y giroscopio MPU6050.

EL módulo MPU6050 es un sensor que integra un giroscopio de tres ejes con el que podemos medir velocidad angular y también cuenta con un acelerómetro de 3 ejes con el que medimos los componentes X, Y, Z de la aceleración. Es importante tener en cuenta la orientación de los ejes indicada en el módulo para interpretar correctamente los signos de las mediciones de aceleración

La comunicación del módulo es por I2C, esto le permite trabajar con la mayoría de microcontroladores. Los pines SCL y SDA tienen una resistencia pull-up en placa para una conexión directa al microcontrolador o Arduino.

El pin ADDR internamente en el módulo tiene una resistencia a GND, por lo que, si no se conecta, la dirección por defecto será 0x68.

El módulo tiene un regulador de voltaje en placa de 3.3V, el cual se puede alimentar con los 5V del Arduino.

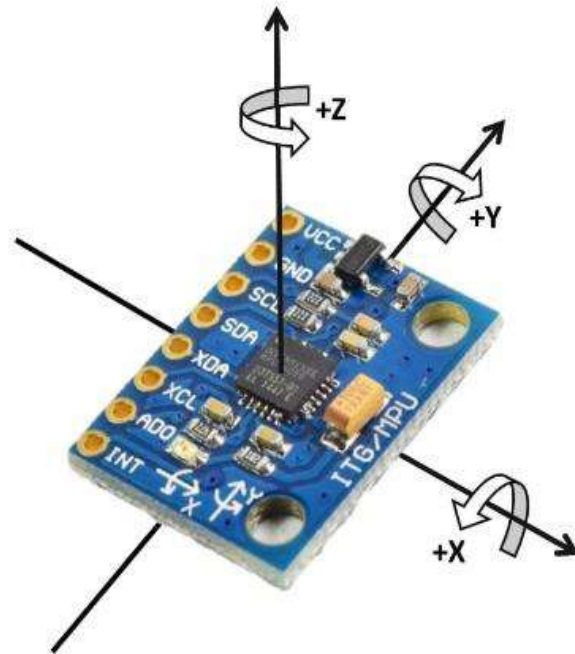


Figura 22. Módulo MPU6050.

6.3.8. Conexionado.

En lo posible se utilizarán cables unifilares (cables de red) reciclados para reducir costos, siempre que sea posible. Para conexiones específicas se utilizarán cables jumper que son muy prácticos debido a que cuentan con sockets o pines en sus terminales, ya sea macho o hembra. Estos tipos de conectores facilitan considerablemente el trabajo a la hora de hacer las conexiones, también son conocidos como cable dupont.

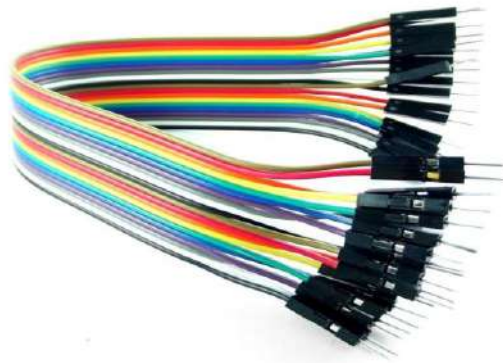


Figura 23. Cables dupont.

Por su parte las fichas de conexión son bastante prácticos a la hora de desconectar y conectar circuitos sin estar cortando conductores o desmontar el circuito para realizar pruebas o modificaciones es por eso que fueron seleccionados las fichas conectoras de 8 conductores.



Figura 24. Fichas de conexión de 8 conductores.

6.3.9. Portafusibles.

La protección del sistema electrónico depende en gran medida de los fusibles. Sin embargo, para garantizar su seguridad y facilitar su reemplazo en caso de averías, es necesario contar con un soporte y resguardo físico adecuado.

Es por lo mencionado que se opta por la utilización de un Portafusibles que permita alojar hasta 6 fusibles. De esta manera, se asegura el correcto funcionamiento del sistema en todas las circunstancias posibles, incluso frente a movimientos bruscos o vibraciones.



Figura 25. Portafusibles de 6 unidades.

6.3.10. Fusibles.

El fusible es un componente de instalaciones eléctricas y electrónicas que se lo ubica en un lugar estratégico de la instalación, esta se interrumpe cuando la intensidad de corriente resulta excesiva para así de esta manera proteger el circuito mediante la interrupción física del paso de la corriente.

Para los requerimientos del proyecto se optó por los fusibles que están compuestos por una pequeña lámina hecho de una aleación o de un metal que se caracteriza por presentar un punto de fusión bajo y están recubiertas por un material plástico.

6.3.11. Placa tipo protoboard.

Es una esta placa de baquelita con cobre esta perforada tipo protoboard, resulta ideal para crear circuitos con soldadura, gracias a su diseño perforado ayuda a colocar los componentes de una manera más rápida y con acceso directo a sus pines.

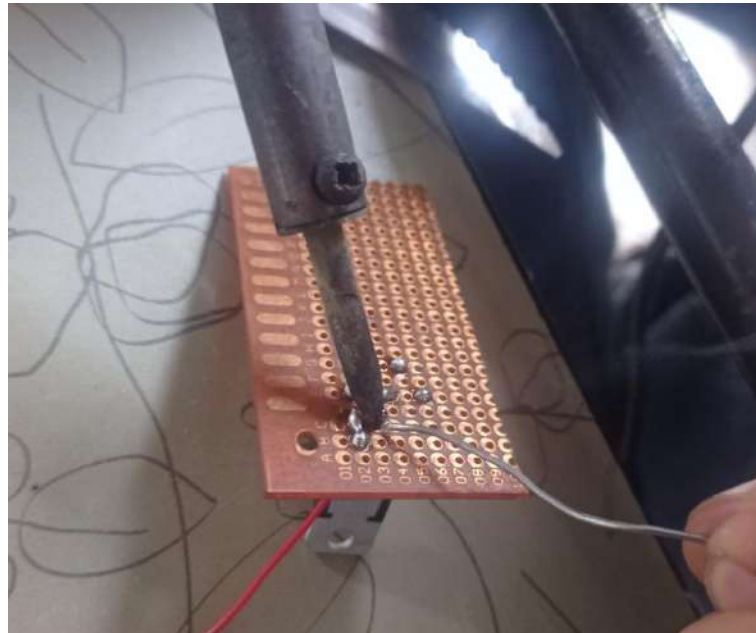


Figura 26. Placa protoboard.

6.3.12. Voltímetro.

Se decidió utilizar un voltímetro digital practico y eficiente, este dispositivo va conectado mediante dos cables que van conectados al polo positivo y negativo de la batería, con un rango de medición de 10v a 100v DC, cuenta con indicador grafico de capacidad de batería de plomo acido, además cuenta con un botón selector de medición de temperatura tanto de grados Celsius a grados Fahrenheit.



Figura 27. Voltímetro digital.

6.3.13. Regulador de voltaje de 9v DC

La salida de 9v es ideal para alimentar diversos dispositivos electrónicos. Sin embargo, la fuente de alimentación, con las baterías normalmente entrega 12v DC, es por eso que se opta por la utilización el regulador e voltaje 7809. Es un circuito integrado monolítico diseñado para entregar una tensión constante y estable a un bajo costo, este regulador emplea la limitación de corriente interna, el apagado térmico y la compensación del área segura.

6.4.DISEÑO Y ELABORACIÓN DE SOFTWARE PARA EL CONTROLADOR Y LA APLICACIÓN CELULAR.

Para el desarrollo óptimo del prototipo es necesario un conjunto de componentes lógicos llamado software para hacer posible la realización de las tareas específicas de los componentes físicos o también llamados Hardware. Esta interacción entre software y hardware es lo que hace funcional y operativo al sistema de control electrónico de la silla de ruedas eléctrica debido a que el software envía instrucciones que el hardware debe ejecutar.

Para programar el Arduino UNO para el control del prototipo mediante la botonera y el EMOS D1 WIFI ESP8266 para el control mediante el celular se requiere de un software compatible para ejecutar correctamente las instrucciones que debe cumplir el prototipo para satisfacer las necesidades del usuario.

6.4.1. IDE de Arduino.

En este proyecto se utilizó Arduino IDE (Entorno de Desarrollo Integrado), es un conjunto de herramientas de software que está escrita en el lenguaje de programación Java, posee todos los soportes para el desarrollo de las programaciones de los microcontroladores. Además, es un software libre que se puede descargar de la página oficial de Arduino.

A continuación, se muestran los pasos para trabajar con Arduino:

- Descargar e instalar el entorno de desarrollo de Arduino.
- Conseguir una placa Arduino y el correspondiente cable USB.
- Conectar la tarjeta Arduino.
- Conectar un LED.
- Ejecutar el ambiente de desarrollo Arduino.

- Seleccionar el puerto serial de comunicación del controlador con la computadora.
- Subir el programa en la tarjeta de control.
- Mirar como pestaña el LED.

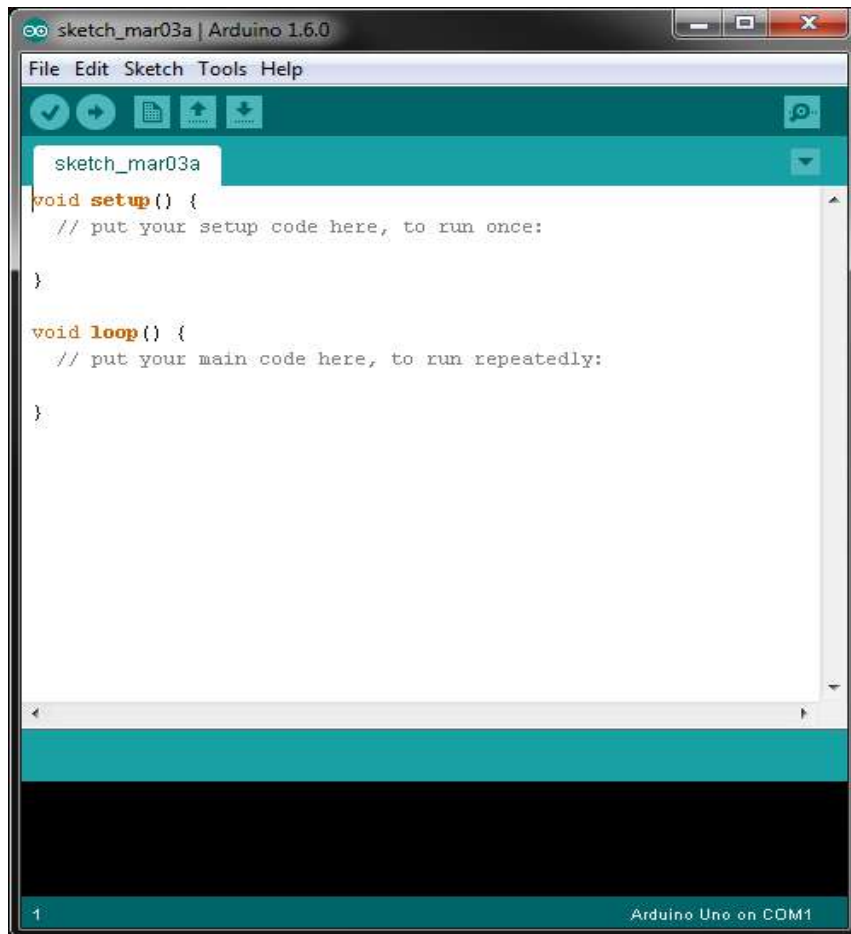


Figura 28. Inicio de Arduino IDE.

Con estos pasos seguidos correctamente ya se tiene la capacidad de realizar la programación del microprocesador.

6.4.2. Programación.

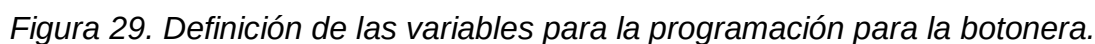
El programa desempeña un papel de gran importancia en el proyecto, debido a que es el que gestiona los datos y toma la decisión correspondiente para el funcionamiento del prototipo, para un buen desarrollo del programa se tienen que tener en cuenta todos los requerimientos del usuario para su mejor desplazamiento, que se obtuvo mediante las entrevistas, basados en estos requerimientos ideales se elaboran los códigos de programación para controlar todos los parámetros deseados y de esa forma lograr brindar una experiencia de manejo acertada y confiable.

Por lo tanto, la programación del microcontrolador Arduino se llevó a cabo utilizando el programa IDE Arduino versión 1.8, proporcionada por el mismo fabricante, la lógica de programación empleada es exclusiva de los autores de este trabajo.

6.4.2.1. Programación para control con botones.

Para una mejor experiencia del usuario la silla de ruedas tiene que tener movimiento multidireccional, por lo que se optó por implementar una botonera con 4 botones como instrumento de mando local debido a su gran alcance, estética y confiabilidad. Para interpretar los movimientos direccionales de la botonera con la placa Arduino UNO, se cargó el programa correspondiente y simplemente conectamos las salidas analógicas del módulo a entradas analógicas de la placa Arduino.

Para el código que se va a ejecutar se crean variables para almacenar las lecturas de los ejes (x, y), en la función de configuración, declaramos los pines como entradas.



6.4.2.2. Programación para control a través de una aplicación celular.

Con esto primeramente se debe de programar el módulo WEMOS D1 WIFI ESP8266 compatible con Arduino, para poder interpretar los movimientos direccionales de la silla de ruedas motorizada, el código se programado de la siguiente manera:





82

Finalizando este proceso lo siguiente es la programación de la aplicación celular para controlar el prototipo, esto se logra mediante el programa MIT app inventor.



Figura 34. Inicio de MIT app INVENTOR

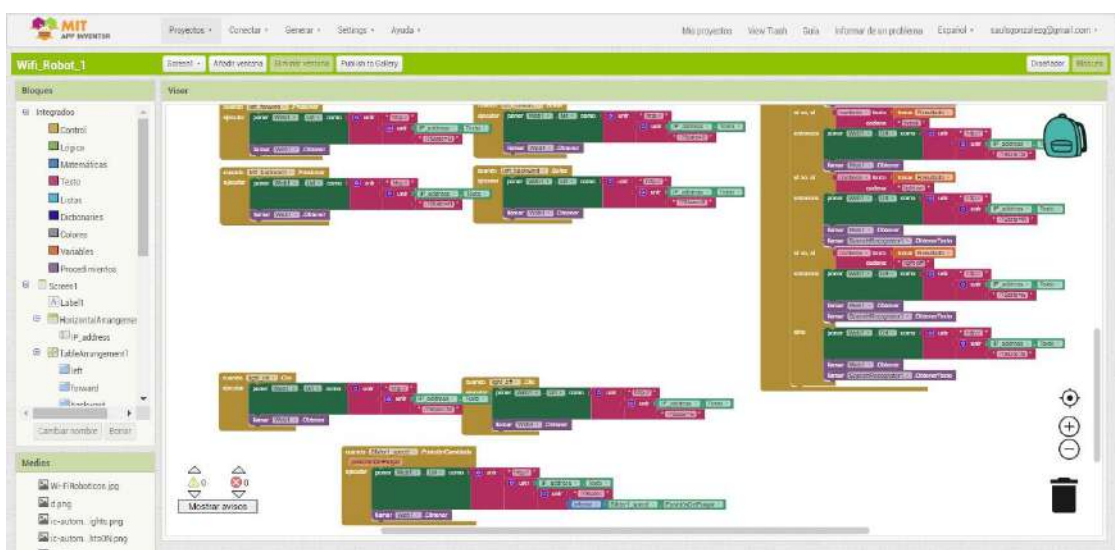


Figura 35. Programación realizada en MIT app INVENTOR.

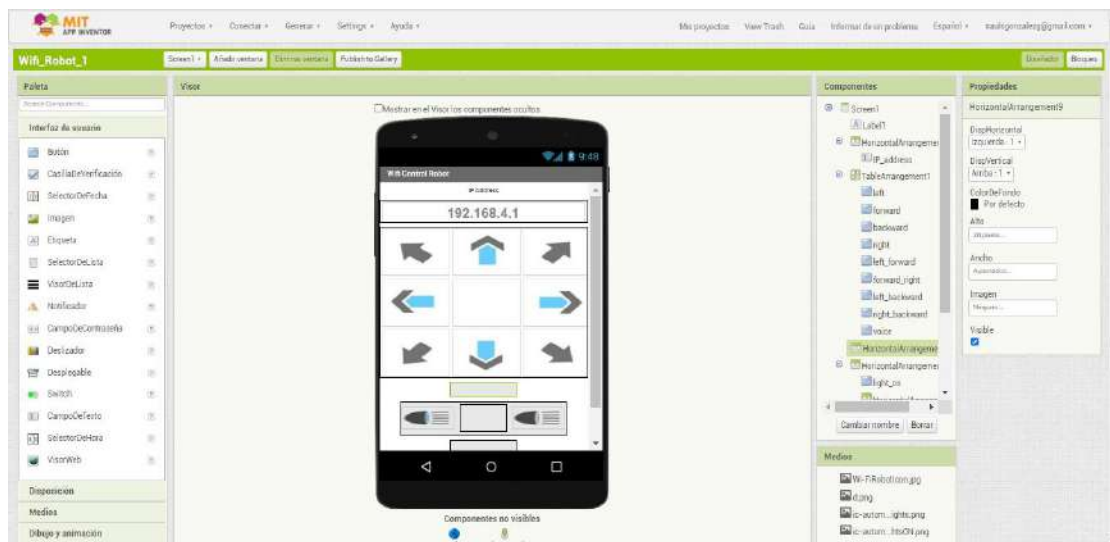


Figura 36. Diseño de la aplicación para el control del prototipo.

Una vez finalizado el proceso de realizar la programación de la aplicación esta es guardada como una aplicación, y es compatible para cualquier celular con sistema operativo Android.

Con todo esto, ya se podrá controlar el prototipo de silla de ruedas motorizado por medio de una aplicación celular y por medio de un mando local de botoneras de cruz control.

6.4.3. Diagrama del sistema de control de la silla de ruedas.

En esta sección se puede describir el sistema de interface del prototipo planteado. Por un lado, se tiene el control por medio de una botonera, esta interface cuenta con cuatro botones que son utilizados para desplazar la silla de ruedas motorizada, la señal es enviada por medio de cables a un Arduino Uno que fue programado posteriormente de tal manera a que pueda entender las señales recibidas, esta es la etapa de control, por ultimo estas señales son enviadas a la etapa de potencia donde el puente H es el encargado de enviar los pulsos para que el motor gire.

El siguiente método de control de la silla de ruedas es por medio de una aplicación celular que envía la información por medio del dispositivo wifi del celular al WEMOS D1 WIFI ESP8266 que está en la etapa de control, está identifica, procesa y ejecuta las señales, los pulsos son enviados a la siguiente etapa de potencia.

En el siguiente diagrama se puede observar como es el sistema de control del prototipo:

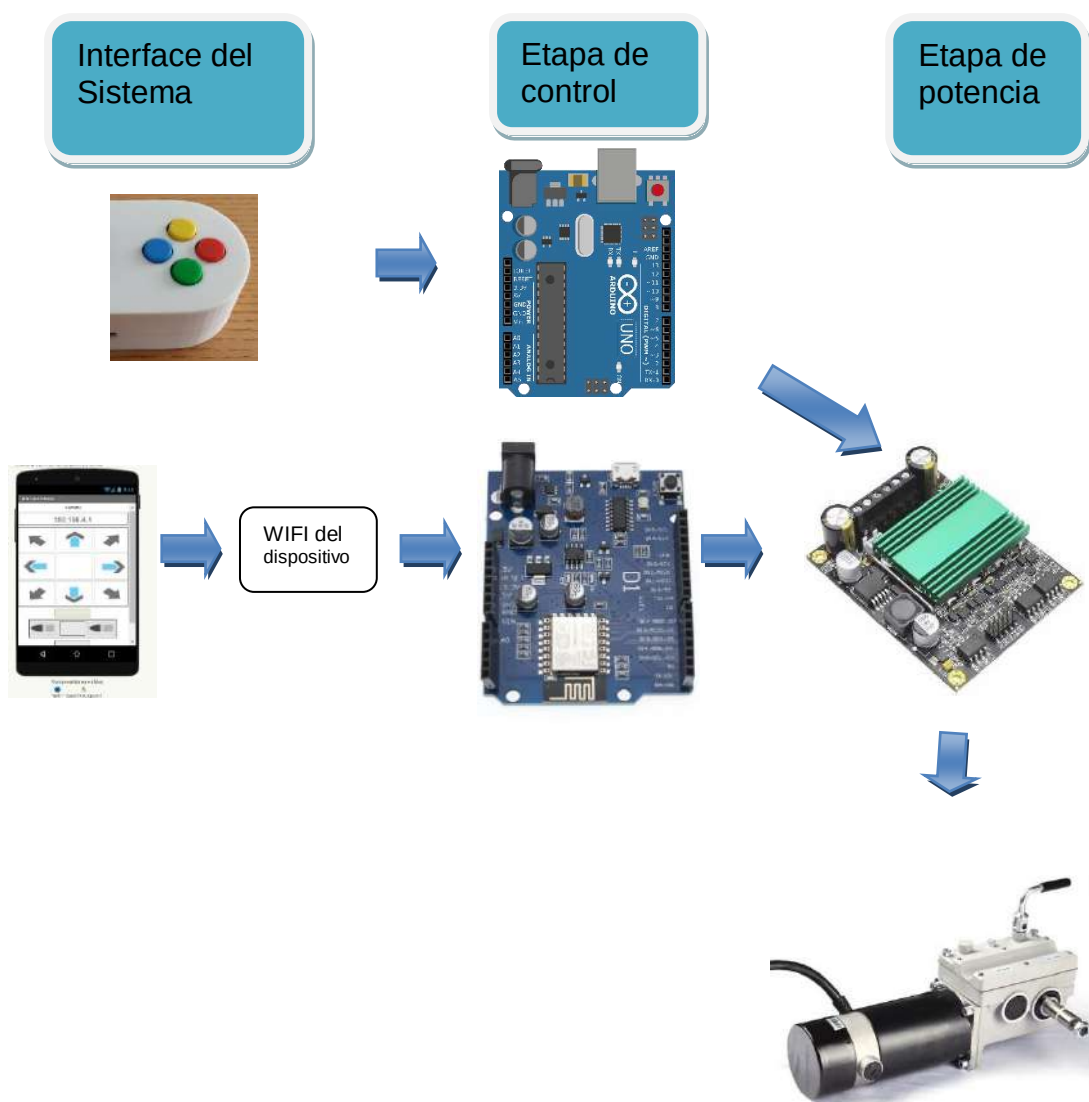


Figura 37. Diagrama del sistema de control de la silla de ruedas motorizada.

6.5.CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO.

Para la ejecución del proyecto se tuvo que restaurar y modificar la estructura metálica de una silla de rueda eléctrica en desuso, de tal manera a reducir los costos de fabricación. La selección de esta estructura se realizó teniendo en cuenta el cumplimiento de los requerimientos tanto de parte de los posibles usuarios y viendo la factibilidad técnica.

Cabe resaltar que, durante el proceso de la restauración, se exploraron otras áreas que no son exclusivamente de sistemas electrónicos, lo que permitió desarrollar la creatividad e ingenio que es la verdadera base de la carrera, tales como pintura y soldaduras de las estructuras metálicas, tapizados de los asientos, y otras cuestiones mecánicas como el cambio de los rodamientos.



Figura 38. Estado inicial de la estructura metálica.

Para comenzar con la restauración, se procedió a lijar minuciosamente la estructura metálica con lijas al agua, con el fin de eliminar cualquier impureza presente en la superficie del metal, logrando que la pintura tenga una mejor adherencia al material. El método utilizado para pintar fue del tipo aerosol en un color negro mate seleccionado por los autores del proyecto.



Figura 39. Estructura lijada y pintada.

La estructura metálica está diseñada con tubos solidos que se ajustan perfectamente en los soportes de los dos motores que posee las dos ruedas traseras propulsoras. Encastrado a dicho tubo de metal en su parte posterior se tiene una extensión curva del tubo de metal que apunta hacia abajo a unos 4 cm del nivel del suelo, esta posee una ruedita en cada extremo que cumple la función de soporte de respaldo en situaciones donde la superficie presenta una pronunciada pendiente, esto evita que la silla de ruedas se vuelque hacia atrás.

Las rueditas fueron adquiridas en una ferretería local, que son de usos comunes. Para el eje del mismo se emplearon tornillos con rosca de la medida correspondiente, garantizando de esa forma un sólido ensamble.



Figura 40. Ruedas de soporte de Respaldo.

La silla de ruedas cuenta con una suspensión regulable tipo espiral, que se encuentra ubicada entre la base del asiento de la silla y el tubo metálico soporte del motor. Este sistema de suspensión ofrece múltiples beneficios, debido a que manejo de la silla de ruedas se hace más cómoda y segura absorbiendo pequeñas vibraciones a la hora de recorrer superficies irregulares.

La principal ventaja de esta suspensión es su capacidad para amortiguar los impactos y vibraciones, manteniendo el funcionamiento del sistema electrónico. De tal manera se previenen la ocurrencia de averías o fallas en las placas electrónicas, fusibles o terminales de conexión, protegiendo si la integridad del producto.



Figura 41. Suspensión regulable.

Para alojar las dos baterías de 12v DC y los componentes eléctricos y electrónicos necesarios se diseñó y elaboró una caja metálica que se ubica debajo del soporte para el asiento de la silla, Se tomaron en cuenta los espacios ocupados por las dos baterías de 12v DC y el espacio comprendido entre los motores montados en la estructura metálica. Dicha caja posee dimensiones de 200 x 350 x 150 mm LxAxH).



Figura 42. Diseño y construcción para las baterías.

Dicha caja metálica cuenta con una tapa del mismo material para brindar un mayor resguardo de los sistemas eléctricos alojados en su interior, garantizando que el buen funcionamiento del sistema no se vea afectado por agentes externos.



Figura 43. tapa de la caja de baterías.

Además, a base del soporte de las ruedas delanteras se diseñó para tener una libertad de giro de 360°, para que al momento de propulsarle las ruedas traseras pueda desplazarse teniendo la libertad para dirigirse a cualquier dirección, es por ello que se utilizaron rodamientos a bolas como mejor opción.



Figura 44. Colocación de rodamientos.

Se buscaron las mejores alternativas disponibles en la región para las dos ruedas delanteras, teniendo en cuenta el costo y la accesibilidad. Finalmente se seleccionó dos neumáticos de goma inflables diseñadas para carretillas, estas fueron adaptadas a la rueda del prototipo.



Figura 45. Ruedas del prototipo.

Por su parte, el asiento y el respaldo se tuvo que rehacer por completo, por un lado, cumpliendo con las exigencias técnicas en las medidas y no menos importante la comodidad a la hora de utilizar la silla de ruedas. El respaldo es ajustable de acuerdo al requerimiento del usuario, brindando una gran comodidad al usuario.



Figura 46. Antes de la restauración.



Figura 47. Después de la restauración.

El motor seleccionado para las ruedas traseras propulsoras de la silla de ruedas está conectado a un sistema mecánico de engranajes también llamado caja reductora, esta caja reductora permite reducir la velocidad rotatoria que entrega el eje del motor eléctrico y entrega en su eje de salida un mayor torque. Al motor eléctrico se le realizó los debidos mantenimientos, como limpieza de colectores, cambio de escobillas, como también cambio y lubricación de rodamientos como bujes y rodamientos a bolas.



Figura 48. Mantenimiento al motor eléctrico.



Figura 49. Mantenimiento de la caja reductora.



Figura 50. Componentes restaurados.

Las juntas de las tapas de las cajas reductoras ya estaban vencidas y debido a esto filtraba la grasa hacia la superficie, por lo que se colocaron juntas nuevas que se cortaron a la medida de la tapa, entre la junta y la tapa se colocaron un pegamento especial para mejor cierre hermético.

Una vez cambiada la grasa y realizar el mantenimiento a los rodamientos se prosiguió con la pintura y el ensamblado de los soportes del motor y del motor.



Figura 51. Pintura de componentes del motor y reductor.



Figura 52. Ensamblaje de las partes del motor y reductor.

También se realizaron modificaciones a los posa pies de manera a obtener una buena posición tanto de los pies como de las piernas del usuario del prototipo.



Figura 53. Modificaciones a la estructura metálica.

Estructura final del prototipo.

La estructura final cumple con los requerimientos y objetivos técnicos propuestos para el proyecto con el fin de que los pacientes puedan desplazarse de la mejor manera posible.



Figura 54. Prototipo terminado.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Primeramente, en este proyecto de fin de grado se realiza una recolección de datos de las dificultades y limitaciones que enfrentan los usuarios de sillas de ruedas en su día a día. Con esta información se pudo identificar los requerimientos específicos del grupo de personas que podrían ser los usuarios del prototipo.

Se definieron los requerimientos técnicos que deben cumplir el prototipo para brindar comodidad, movilidad controlada y facilidad de manejo en condiciones tan caóticas a las que pueden estar sometidas las personas con movilidad limitada en miembros inferiores.

Posteriormente se realizó una extensa investigación de los componentes que cumplan con los requerimientos específicos del proyecto, dichos dispositivos fueron seleccionados con la prioridad de que estén disponibles en el mercado local, sean accesibles, sean fáciles de realizar los mantenimientos correspondientes y por sobre todo resistentes para el uso diario.

Se realizaron las programaciones necesarias para lograr el manejo del prototipo de dos maneras, la primera es a través del mando local, utilizando botoneras y la otra es por medio de una aplicación celular, esto se logra por medio de una conexión WIFI entre el celular y el microprocesador, con estas se brinda opciones de manejo ante cualquier escenario posibles.

Con todos los materiales necesarios reunidos, se prosiguió a realizar la construcción del prototipo, logrando concluir de forma exitosa todos objetivos trazados consiguiendo construir una silla de ruedas eléctrica funcional y versátil.

Para concluir se realizó el presupuesto basado en los precios unitarios de cada elemento que compone la silla de ruedas eléctrica, con eso se concluye que el prototipo es accesible al público en general, debido a que su precio es inferior a otras sillas similares en el mercado.

V. CONCLUSIONES.

Ante el análisis de las informaciones relacionadas a las limitaciones que sufren las personas con discapacidad en miembros inferiores, se diseñó y construyó una silla de ruedas eléctrica automática comandada a través de una aplicación celular, de modo a brindarles una independencia al usuario para desplazarse y desarrollarse libremente.

Con la elaboración de este proyecto de fin de grado se consigue resultados muy positivos para los futuros usuarios del prototipo planteado, cumpliendo con los requerimientos técnicos y económicos proyectados, esto se logra analizando y consideraron todos los componentes mecánicos que lo componen, con la prioridad que sea elementos disponibles en el mercado local, combinados con tecnología de fácil acceso para el control de los motores y demás elementos necesarios para lograr el funcionamiento correcto del prototipo. Además, se diseñaron y elaboraron software para lograr que los componentes puedan trabajar al unísono consiguiendo una silla de ruedas eléctrica práctica y cómoda para el usuario final.

VI. RECOMENDACIONES.

Se recomienda realizar estudios adicionales de modo a incluir un sistema de elevación de silla de ruedas, de tal manera a simular que el usuario este parado, de esa forma podrá acceder a estantes u objetos a alturas superiores.

Además, se recomienda para futuros trabajos la inclusión de sistemas de seguridad más completos, incorporando más sensores que faciliten el uso ante dificultades que puedan enfrentar los usuarios con un entorno cambiante, como, por ejemplo: frenar automáticamente al momento de soltar los mandos de control, detectar obstáculos, sistemas de apagado automático ante algún tipo de emergencia, etc.

Se aconseja realizar mantenimientos preventivos al prototipo, de tal forma a evitar que el usuario sufra de algún percance al realizar sus actividades diarias.

VII. BIBLIOGRAFIA.

- [1] C. Egea Garcia y A. Sarabia Sánchez, Clasificación de la OMS sobre la Discapacidad., Murcia., 2001.
- [2] L. Tortosa, Ergonomía y discapacidad, Valencia: Instituto de Biomecánica de Valencia., 2008.
- [3] Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, «Clasificación de Tipo de Discapacidad-Historia,» 2000.
- [4] G. Mao, «Manual MSD,» septiembre 2021. [En línea]. Available: <https://www.msmanuals.com/es-es/hogar/traumatismos-y-envenenamientos/lesiones-medulares/lesiones-de-la-m%C3%A9dula-espinal-y-de-las-v%C3%A9rtebras>. [Último acceso: 4 julio 2023].
- [5] Instituto Nacional de Trastornos Neurológicos y Accidentes Cerebrovasculares, «Instituto Nacional de Trastornos Neurológicos y Accidentes Cerebrovasculares,» julio 2019. [En línea]. Available: <https://espanol.ninds.nih.gov/es/trastornos/forma-larga/ataxia-de-friedreich>. [Último acceso: 4 julio 2023].
- [6] Mayo Clinic., «Mayo Clinic,» 24 Diciembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.mayoclinic.org/es/diseases-conditions/multiple-sclerosis/symptoms-causes/syc-20350269>. [Último acceso: 4 julio 2023].
- [7] C. O. Jácome Recalde y S. I. Quiroz Ruiz, Diseño y construcción de una silla de ruedas motorizada, Ibarra, 2016.
- [8] D. M. Castanier Muñoz y E. V. Mendía Idrovo, Diseño, Construcción e Implementación de una silla de Ruedas Eléctrica Pegable para una persona con problemas de movilidad, Cuenca, 2018.
- [9] E. Crespo, «Aprendiendo Arduino,» Blog de WordPress.com., 2015. [En línea]. Available: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2015/03/23/microcontroladores/>
- [10] J. C. Herrero herranz y J. Sanchez Allende, «Una mirada al mundo arduino,» *Tecnología y desarrollo*, vol. 13, p. 4, 2015.
- [11] B. Kuo, Sistemas de Control Automático, Mexico: Pearson, 2004.
- [12] C. R. Group. [En línea]. Available: <https://www.riscogroup.com/spain/products/product/56127>.
- [13] E. Bozich, Introducción a los Dispositivos FPGA, Argentina , 2005.
- [14] G. Medina, «Sistemas de control: Características, tipo y más,» 30 Setiembre 2020. [En línea]. Available: <https://tecnoinformatic.com/c-informatica-basica/sistemas-de-control/>.
- [15] J. C. Villajulca, «Instrumentation y control.Net,» [En línea]. Available: <https://instrumentacionycontrol.net/variadores-de-velocidad-de-motores-dc-fundamentos/>.
- [16] H. Luis, «Aplicaciones móviles,» 11 Junio 2012. [En línea]. Available: <https://anincubator.com/que-es-una-aplicacion-movil/>.