

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación.

Diseño e implementación de un prototipo de sistema electrónico para
motorizar una silla de ruedas

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones

Presentado por:

Carlos Jesús Poveda Zapata

Luis Enrique Díaz Torres

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2019

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado a mi familia, sobre todo a mi madre que siempre me brindó su apoyo y me enseño que no hay mejor regalo que una buena educación. A mi esposa que siempre estuvo en los momentos más difíciles para darme apoyo moral para no darme por vencido. A mi hija por ser mi inspiración para conseguir lo imposible e iluminar mis días con su hermosa sonrisa.

Luis E. Díaz Torres

El presente proyecto lo dedico a mis padres por su constante sacrificio al anteponer todo para que pudiera recibir la mejor educación A mis maestros que con sus sabios consejos y enseñanzas me permitieron alcanzar este objetivo. Y a mi hermano y queridos amigos que siempre estuvieron presentes para apoyarme y levantarme cuando las cosas fueron más difíciles.

Carlos J. Poveda Zapata.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primero a Dios por ayudarme a cumplir una meta más en mi vida, a mi familia por apoyarme en toda mi carrera universitaria, a mi compañero de tesis que lo conozco por más de 10 años y a nuestro profesor de materia por guiarnos en la realización de este proyecto.

Luis E. Díaz Torres

Mis más sinceros agradecimientos a Dios por permitir cumplir mis sueños y objetivos, a mi compañero de tesis al ser un amigo incondicional desde nuestra adolescencia, a mi familia por permitir tener la mejor educación y a mi profesor de materia que no solo nos enseñó cómo realizar un buen proyecto sino también como ser unas excelentes personas y profesionales.

Carlos J. Poveda Zapata

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Carlos Jesús Poveda Zapata y Luis Enrique Díaz Torres damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

Carlos Poveda Zapata

Luis Díaz Torres

EVALUADORES

Ph. D. Francisco Novillo

PROFESOR DE LA MATERIA

MSc. Luis Vásquez

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Las personas que sufrieron afectaciones en las extremidades inferiores por pérdida de movilidad o amputaciones, hacen uso de herramientas como las sillas de ruedas, estas les permiten movilizarse siempre y cuando el usuario a cargo pueda ejercer la fuerza suficiente con sus extremidades superiores para empujar las llantas de la silla, el constante contacto de sus manos con estos objetos que a su vez recorren el suelo, incluyendo las largas distancias y la gran cantidad de irregularidades de los terrenos, provocan cansancio, lesiones y contaminación por hongos o bacterias, que han deteriorado la salud de los usuarios y disminuido la calidad de vida de estas personas. Este proyecto planteó como objetivo implementar un prototipo electrónico motorizado que se acoplara a las sillas de ruedas convencionales para resolver los problemas de movilidad que presentan este tipo de personas, utilizando para su desarrollo un sistema electromecánico, el cual consistió en controlar un motor eléctrico alimentado por una batería de litio, los cuales se montaron sobre un tubo de dirección similar al de una bicicleta, para luego ser acoplado a una silla de ruedas.

Los resultados obtenidos fueron satisfactorios logrando que el dispositivo genere la fuerza suficiente para jalar la silla de ruedas junto al usuario y movilizar a varias personas de diferentes pesos, llegando a subir una rampa para discapacitados en cuestión de segundos. Verificando que fue posible la implementación del prototipo utilizando elementos de bajo costos y obteniendo un rendimiento apropiado tal como se detalla a lo largo de este documento.

Palabras claves: Motor, Adaptable, Discapacidad, Electromecánico.

ABSTRACT

People who suffered affectations in the lower extremities due to loss of mobility or amputations, make use of tools such as wheelchairs, these allow them to move as long as the user in charge can exert enough force with their upper limbs to push the tires of the chair, the constant contact of their hands with these objects that in turn travel the ground, including the long distances and the large number of irregularities of the land, cause fatigue, injuries and contamination by fungi or bacteria, which have deteriorated the user health and decreased the quality of life of these people.

This project aimed to implement a motorized electronic prototype that would be coupled to conventional wheelchairs to solve the mobility problems presented by this type of people, using an electromechanical system for its development, which consisted of controlling an electric motor powered by a lithium battery, which were mounted on a steering tube similar to that of a bicycle, and then be attached to a wheelchair.

The results obtained were satisfactory, making the device generate enough force to pull the wheelchair next to the user and mobilize several people of different weights, reaching a ramp for the disabled in a matter of seconds. Verifying that it was possible to implement the prototype using low cost elements and obtaining an appropriate performance as detailed throughout this document.

Keywords: Motor, Adaptable, Disability, Electromechanical.

ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES	5
RESUMEN	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS	V
SIMBOLOGÍA	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción.....	1
1.1 Descripción del problema	2
1.2 Justificación del problema.....	3
1.3 Objetivos.....	5
1.3.1 Objetivo General	5
1.3.2 Objetivos Específicos	5
1.4 Alcance.....	6
CAPÍTULO 2	7
2. Marco teorico.....	7
2.1 Silla de ruedas	7
2.1.1 Clasificación de sillas de ruedas.....	8
2.2 Prototipo electrónico motorizado.....	12
2.2.1 Motor DC.....	13
2.2.2 Controlador de velocidad y potencia.....	17
2.2.3 Baterías.....	18
CAPÍTULO 3	24

3.	Diseño y modelado del sistema electromecánico	24
3.1	Descripción general del sistema	24
3.2	Escenario e implementación.....	27
3.2.1	Escenario planteado.....	28
3.3	Cálculos teóricos para movimiento del prototipo	30
3.4	Diseño del prototipo electrónico motorizado.	38
3.5	diseño del sistema de seguridad para el prototipo motorizado.....	40
3.6	Implementación y montaje del prototipo.....	41
	CAPÍTULO 4	47
4.	pruebas y resultados	47
4.1	Funcionamiento del sistema de seguridad.....	47
4.2	Prueba del dispositivo motorizado.	49
4.3	Prueba de la batería	52
4.4	Comparación de precios	56
	CAPÍTULO 5	59
5.	Conclusiones Y Recomendaciones	59
	BIBLIOGRAFÍA	61
	ANEXOS	63

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
AMISR	Posee afectaciones en los miembros inferiores y utilizan sillas de ruedas.
UCP	Universidad Católica de Pereira
DC	Direct Current o Corriente Continua
BLDC	Brushless DC o Sin Escobillas DC
Fig	Figura
Li-ion	Ion de Litio

SIMBOLOGÍA

W	Vatios
V	Voltios
Ah	Amperios Horas
Kg	Kilogramos
lb	Libras
m	Metros
s	segundos
Km	Kilómetro
h	Hora
N	Newton
Fy	Fuerza en el eje y
Fx	Fuerza en el eje x
m	Masa
a	Aceleración
fr	Fuerza de fricción
g	Fuerza de gravedad
Cr	Coeficiente de fricción de los neumáticos
Θ	Ángulo de elevación del terreno
P	Potencia

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Silla de ruedas manual Breezy 90	9
Figura 2.2 Silla de ruedas eléctrica INVACARE stream.....	10
Figura 2.3 Silla de ruedas ultraligera Breezy Premium	11
Figura 2.4 Silla de ruedas para deporte Quickie Match Point	12
Figura 2.5 Silla handbike para deporte Quickie Shark RS	12
Figura 2.6 Motor DC con escobillas.....	14
Figura 2.7 Estator de un BLDC	16
Figura 2.8 Llanta motorizada	16
Figura 2.9 Controlador para llanta motorizada.....	18
Figura 2.10 Batería de litio 36v 9Ah	23
Figura 3.1 Diagrama Módulo 1	24
Figura 3.2 Diagrama módulo 2: Parte eléctrica/electrónica.....	25
Figura 3.3 Diagrama módulo 2: Parte mecánica.....	26
Figura 3.4 Diagrama de flujo total del sistema.....	27
Figura 3.5 Diagrama de cuerpo libre 1	31
Figura 3.6 Diagrama de cuerpo libre 2	33
Figura 3.7 Diseño para tubo direccional	38
Figura 3.8 Diseño llanta motorizada	39
Figura 3.9 Diseño total del sistema	39
Figura 3.10 Circuito regulador de voltaje	40
Figura 3.11 Circuito final del sistema de seguridad	41
Figura 3.12 Llanta motorizada de aro 26”	42
Figura 3.13 Llanta con aro reducido	42
Figura 3.14 Montaje del tubo y llanta.....	42
Figura 3.15 Montaje de la llanta en la horquilla	43
Figura 3.16 Manillar con frenos	43
Figura 3.17 Protección del controlador	44
Figura 3.18 Ubicación del controlador	44
Figura 3.19 Dispositivo conectado.....	45
Figura 3.20 Mecanismo de acople (vista lateral y frontal)	45
Figura 3.21 Prototipo con acabado final	46

Figura 3.22 Dispositivo motorizado acoplado a la silla de ruedas convencional	46
Figura 4.1 Diagrama del equipo antes de ingresar contraseña.....	47
Figura 4.2 Diagrama del equipo después de ingresar contraseña	48
Figura 4.3 Diagrama del equipo cuando se activó el sistema	49
Figura 4.4 Prueba de autonomía.....	50
Figura 4.5 Velocidad máxima	51
Figura 4.6 Gráfica del tiempo de duración de la batería para las dos etapas	55
Figura 4.7 Comparación de precios.....	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Datos característicos de diferentes baterías	21
Tabla 3.1 Datos del Usuario para escenario planteado	28
Tabla 3.2 Datos de la silla de ruedas para escenario planteado.....	29
Tabla 3.3 Variables y constantes a considerar	36
Tabla 3.4 Masas del sistema.....	36
Tabla 3.5 Valores para constantes y variables consideradas.	36
Tabla 4.1 Pesos de los participantes.....	51
Tabla 4.2 Tiempo de duración de la batería en la primera etapa	53
Tabla 4.3 Tiempo de duración de la batería en la segunda etapa	54
Tabla 4.4 Lista de precios	57

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

El término Discapacidad se refiere a un estado en el cual las personas presentan alguna deficiencia ya sea esta física, mental o sensorial que le impide realizar tareas o actividades de manera normal en su vida diaria [1]. Varios son los motivos que conllevan a la discapacidad de una persona siendo las principales: envejecimiento, enfermedades hereditarias como la diabetes y sobre todo accidentes laborales o de tránsito.

Según los datos estadísticos del Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades hasta el mes de abril del 2019 un total de 460.856 personas sufren algún tipo de discapacidad siendo la discapacidad física la que más predomina con un 46.65% dando una cifra de 214.862 personas [2]. Esto se refleja en la gran cantidad de personas con que a diario se pueden ver por las calles.

Dentro de este grupo hay personas que han perdido movilidad en sus extremidades ya sea superiores o inferiores, así mismo personas que ha sufrido amputaciones de sus extremidades por lo cual para poder movilizarse hacen uso de adaptaciones técnicas como prótesis o sillas de ruedas que puedan mejorar su forma de vida.

Este proyecto se realizó enfocado a personas que sufren afectaciones en los miembros inferiores y utilizan una silla de ruedas manual, a las cuales a partir de este punto las denominaremos “PAMISR”. Las afectaciones producidas sea por pérdida de movilidad o amputaciones han provocado que estas se vean forzadas a valerse de sus extremidades superiores para poder hacer uso de herramientas de ayuda con un bajo costo como las sillas de ruedas manuales, sin embargo el uso excesivo de esta herramienta puede perjudicar su salud, produciendo heridas superficiales al momento de operar estos objetos y así mismo provocando cansancio si ha estado usando la silla por mucho tiempo, ocasionando que las personas AMISR dependen de terceras personas para poder movilizarse, o busquen otro medios de movilización con precios muy elevados que no son tan asequibles para todos los usuarios.

Es debido a esto que en el presente proyecto se pretende abordar estos problemas que sufren las personas AMISR, diseñando un prototipo adaptable motorizado capaz de acoplarse a sus sillas de ruedas manuales para eliminar el esfuerzo físico producido por sus extremidades superiores y otorgarles un mando eléctrico capaz de generar movimiento a la silla de ruedas de una forma sencilla y amigable para el usuario con bajos costos.

1.1 Descripción del problema

Las sillas de ruedas son objetos de ayuda técnica que permiten a personas con una movilidad reducida o permanente, poder desplazarse de forma individual o colectiva. Estas son los objetos más comunes que pueden observarse en el caso de personas que han perdido el movimiento en sus piernas o algunas de sus extremidades inferiores (AMISR), permitiéndoles así hacer uso de estas en el diario vivir para facilitar sus labores cotidianas. También son de ayuda en centros de salud, para el transporte de pacientes los cuales no pueden ejercer movimientos bruscos por casos médicos o incluso en actividades deportivas para personas discapacitadas.

Sin embargo, el uso excesivo de estas sillas de ruedas manuales puede ocasionar problemas que afectan de forma directa a la persona que opera este producto.

La Universidad Católica de Pereira UCP de Colombia, realizó un estudio sobre los problemas que sufren las personas que hacen uso de sillas de ruedas manuales, en lo cual se pudo destacar que los problemas más comunes que padecen estas personas son (Elsevier, 2012) [3]:

Dependencia.- Las personas que poseen falta de movilidad completa, depende de un usuario externo para poder generar el movimiento de una silla de ruedas manual, creando una dependencia por parte de una persona que tal vez no esté preparada para afrontar el tiempo y responsabilidad necesaria, generando malestar social, familiar y cultural.

Higiene.- Una silla de ruedas manual, conlleva al usuario a estar en constante contacto con las llantas de las sillas, está a su vez recorren el suelo el cual termina transmitiendo una serie de hongos y bacterias que producen enfermedades, que complican la situación del discapacitado.

Lesiones.- Las personas que usan sillas de ruedas manuales deben manipular las ruedas para generar movimiento, provocando las deformaciones producidas en las características físicas de la silla, pueda generar una lesión que afecte al usuario.

Precios.- Los precios elevados de las sillas de ruedas que varían de lo común y mantiene sistemas eléctricos, son muy elevados para que puedan ser costeados por personas de escasos recursos, impidiendo y obligando a llevar lo que su bolsillo le permiten.

Capacidad.- La silla de ruedas común depende del usuario para otorgar el movimiento, la eficacia de esto depende del control mental y físico que el usuario tenga al momento de ejecutar alguna maniobra con la silla, llegando a presentarse con el límite de la capacidad humana para afrontar terrenos poco amigables que pueden ser impedimento al momento de movilizarse.

1.2 Justificación del problema

Según el Ministerio de trabajo 71.949 personas que sufren algún tipo de discapacidad se encuentran registradas como laboralmente activas, en el cual el 55.08% de estas personas padecen de discapacidad física, de las cuales la mayor parte de estas son personas AMISR, debido a que deben de hacer uso de sus extremidades superiores para poder ejercer alguna labor. Cabe mencionar que en este porcentaje no se encuentran incluidas las personas AMISR que trabajan como vendedores ambulantes y tampoco se toman en cuenta las personas AMISR que no poseen trabajo debido a que no se encuentran registrados en el ministerio de trabajo.

Todas estas personas AMISR se ven obligados a usar una silla de ruedas manual; sin embargo, hacer uso de una silla de ruedas manual requiere que la persona que lo opere disponga de un buen estado físico, debido a que deberá emplear una fuerza considerable para poderse movilizar, sobre todo cuando necesitan trasladarse largas distancias, maniobrar en terrenos irregulares, subir veredas o rampas [3]. En el caso que una persona AMISR no cuente con la fuerza física suficiente, una silla de ruedas manual no resulta ser eficiente, por lo cual deben recibir ayuda de terceras personas para poderse trasladar [3]. El uso excesivo de este equipo provocaría los problemas que se mencionaron en la sección previa, sin embargo, estos problemas podrían aminorarse si la persona adquiriese una silla de ruedas eléctrica, lo cual resulta muy difícil de lograr debido que en el país estos equipos son muy costosos y en la mayoría de los casos necesitan ser importados, ocasionando un excesivo valor a pagar por estos. Con la finalidad de poder ayudar a estas personas AMISR para que puedan trasladarse con mayor facilidad y mejorar su calidad de vida, se pretende realizar un equipo eléctrico motorizado que se pueda adaptar a la mayoría de las sillas de ruedas manuales para que su movilización sea autónoma, la cual será controlada mediante un mando eléctrico.

Los beneficios o problemas que resolvería este equipo son:

Dependencia.- Debido a que en la silla de ruedas se motoriza la persona AMISR ya no dependerá de terceras personas para que intervengan en su traslado.

Higiene.- El contagio de enfermedades o infecciones se reduce en las personas AMISR debido a que sus manos ya no tendrán contacto físico con las ruedas traseras debido a que la silla de ruedas será operada desde el equipo adaptable.

Lesiones.- Las heridas superficiales como cortes o ampollas en las manos y el cansancio físico se reducen.

Precio.- Este equipo adaptable es una opción económica en comparación con una silla de ruedas eléctricas u otros equipos adaptables existentes en el mercado.

Capacidad.- Este equipo puede ser operado por cualquier persona AMISR sin importar su estado físico debido a que todo el trabajo de movilización lo realiza el motor que posee el equipo.

Realizando una comparación entre una silla de ruedas eléctricas y el equipo adaptable que se pretende desarrollar en este proyecto, se puede apreciar varias ventajas que resalta nuestro producto, como por ejemplo:

- La silla de ruedas eléctricas es usada solamente cuando esta posee su batería cargada.
- En el caso de que se descargue la batería del equipo adaptable, la persona AMISR puede retirar el equipo adaptable y hacer uso de su silla de ruedas manual.
- Una silla de ruedas eléctricas es muy pesada dificultando su transporte.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un prototipo electrónico motorizado adaptable a una silla de ruedas convencional para el fácil traslado de las personas con discapacidad.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Diseñar un sistema mecánico de acoplamiento para integración con silla de ruedas.
- Implementar un control electrónico sencillo de movimiento y velocidad.

- Determinar la autonomía del prototipo electrónico con diferentes pesos y velocidades.
- Calcular el costo total de la fabricación del prototipo electrónico motorizado.

1.4 Alcance

El alcance del proyecto consiste en diseñar e implementar un prototipo electrónico motorizado para una persona AMISR, que consta de un sistema de control que permita al usuario desplazarse con facilidad a largas distancias con la opción de variar la velocidad según sus requerimientos y estableciendo un límite máximo por seguridad. Adicionalmente se contará con un sistema de seguridad para que la electrónica se inicie con un sistema de clave para evitar que terceras personas usen el producto sin la autorización del usuario. Todo el sistema electrónico estará alimentando con una batería la cual estará ubicada en la inferior de la silla de ruedas. Cabe recalcar que este diseño será adaptable, es decir, el usuario podrá acoplarlo cuando él lo deseé y de la misma forma podrá retirarlo para poder operar su silla manualmente. Se hace énfasis que el usuario beneficiado para el cual se realizará el diseño fue tomado de nuestro entorno familiar por cumplir con las características que lo convierten en una persona AMISR, al sufrir de una amputación en su pierna izquierda y realizar sus actividades diarias haciendo uso de una silla de ruedas manual, por lo que la implementación del prototipo se realizará en base a las características de dicha silla y su dueño.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEORICO

El siguiente capítulo describe de forma general los componentes necesarios para la implementación de la solución al problema planteado en la sección 1.2 del proyecto en curso, permitiendo conocer sus principales características técnicas y limitaciones, que generarán beneficios o desventajas al momento de ser aplicados en un caso real para el usuario final. Además de encontrar una serie de ecuaciones matemáticas necesarias para la manipulación precisa de los sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos que aseguren una completa eficiencia y seguridad para el prototipo desarrollado.

2.1 Silla de ruedas

Una silla de ruedas es una herramienta de apoyo conformado por una silla adaptada a cuatro ruedas, lo cual permite el desplazamiento de personas que padecen de algún problema con movilidad reducida, ya sea causada por alguna lesión, enfermedad o algún problema psicológico.

En la actualidad la mayoría de las sillas de ruedas poseen un modelo adaptable para la comodidad de la persona que la use.

Las partes a tomar en cuenta de una silla de ruedas consisten en [4]:

- Asiento.
- Respaldo.
- Reposapiés.
- Reposabrazos.
- Ruedas traseras o propulsoras.
- Ruedas delanteras o giratorias.
- Barras de cruceta.
- Mango de empuje.

No obstante, la mayor parte de las sillas de ruedas son adaptables y regulables al cuerpo del usuario, estas características permiten adaptar las sillas de ruedas a diferentes situaciones prácticas.

2.1.1 Clasificación de sillas de ruedas

Existen diferentes tipos para las sillas de ruedas dependiendo de la necesidad que tenga el usuario o de las actividades que se requieran realizar en el desarrollo de sus labores diarias, por lo que la variedad de estas es sumamente extensa pudiendo dividirse en dos grandes grupos como lo son:

- Sillas de Ruedas Manuales.
- Sillas de Ruedas Eléctricas.

Sillas de Ruedas Manuales

Como lo indica su nombre, consiste en un sistema que necesita ser impulsado por la persona que la esté ocupando o por una persona que la empuje para poderse trasladar. El mecanismo de movilización consiste en que el usuario empuje hacia abajo o jale hacia arriba los ejes acoplados en las ruedas para poderse movilizar hacia adelante o hacia atrás, en el caso de querer girar hacia la izquierda o derecha es necesario mover solamente una de las ruedas. Estas sillas están fabricadas con materiales ligeros para que el usuario pueda levantarla y guardarla (ver figura 2.1). La velocidad que puede alcanzar estas sillas está dispuesta por la cantidad de fuerza que aplique el usuario, es por este motivo que para poder operar estas sillas de ruedas es necesario que la persona disponga de una buena habilidad. [4]



Figura 2.1 Silla de ruedas manual Breezy 90 [5]

Ventajas

- Son más económicas.
- Son livianas y fácil de transportar.
- Pueden movilizarse en espacios reducidos.
- Está disponible las 24 horas del día.
- Fácil mantenimiento.

Desventajas

- Requiere una cantidad considerable de fuerza en la parte superior del cuerpo para poder ser operada.
- No son recomendables a usarse para trasladarse largas distancias debido al cansancio.
- Según el estado o la condición física de la persona es posible que requiera la ayuda de una tercera persona para poder trasladarse.

Sillas de Ruedas Eléctricas.

Estas sillas son esenciales para las personas que no dispongan de la fuerza o habilidad para operar sillas de ruedas manuales. Son impulsadas por motores acoplados a las cuatro o a las dos llantas traseras los cuales son controlados por un sistema de mando que se encuentra ubicado generalmente en los apoyabrazos de las sillas como se puede observar en la figura 2.2.

Este sistema de mando puede ser maniobrado por el ocupante a través de un joystick o botones y un panel de control para poder regular la velocidad e incluso manipular la posición del respaldo, apoya pies, entre otros. El sistema eléctrico es alimentado por una batería recargable que se encuentra ubicada debajo del asiento. Existen varios modelos de sillas de ruedas eléctricas cuyas características están hechas según la necesidad de la persona que la requiera. [5]



Figura 2.2 Silla de ruedas eléctrica INVACARE stream [5]

Ventajas

- Evita el esfuerzo físico del usuario.
- Evita la dependencia de terceras personas para generar movimiento.
- Adaptación a todo tipo de terrenos.
- Mecanismo de fácil control.
- Asientos adaptables.

Desventajas.

- Precios de adquisición elevados.
- Peso elevado y difíciles de transportar.
- Disponibilidad ligada a la capacidad de la batería.

Variantes de sillas de ruedas.

La estructura básica actual de una silla de ruedas manual o eléctrica está compuesta por: un asiento, dos ruedas traseras, dos ruedas delanteras y un sistema de frenado, sin embargo, debido a las condiciones especiales o necesidades que padecen las personas con discapacidad física, han generado que se produzcan varios tipos de sillas de ruedas eléctricas y manuales con el objetivo de satisfacer las diferentes necesidades que poseen estos usuarios. A continuación, se detallan algunos tipos de estas variantes:

- **Sillas ultraligeras.** - Sillas con un peso altamente reducido, debido al uso de materiales como el titanio y la fibra de carbono para su construcción, permiten establecer un máximo rendimiento, utilizando suspensión delantera y central, además de ruedas con alto rendimiento, sin embargo, al necesitar de mayor equilibrio para su control pueden ser muy propensas a volcarse (ver figura 2.3). [6]



Figura 2.3 Silla de ruedas ultraligera Breezy Premium [5]

- **Sillas deportivas.** – Como se puede apreciar en la figura 2.4, las sillas de ruedas deportivas poseen estructuras diferentes a las presentadas en una silla convencional, siendo el factor determinante los deportes que se van a practicar. Estas a diferencia de las mencionadas anteriormente no son plegables, pero poseen diseños que permiten mantener una gran estabilidad debido a los movimientos bruscos. [6]



Figura 2.4 Silla de ruedas para deporte Quickie Match Point [7]

- **Sillas handbikes.**- También conocidas como triciclos de mano constan con un sistema en la parte delantera que permite al usuario establecer movimiento mediante el uso de sus manos a una rueda en la parte frontal al estilo de una bicicleta o triciclo, logrando de esta forma obtener grandes velocidades (ver figura 2.5). [6]



Figura 2.5 Silla handbike para deporte Quickie Shark RS [7]

2.2 Prototipo electrónico motorizado.

El prototipo electrónico motorizado está diseñado fusionando una serie de componentes que buscan replicar un funcionamiento similar al de las bicicletas eléctricas, otorgando o generando movimiento a una llanta mediante el uso de un motor eléctrico y permitiendo su control mediante dispositivos electrónicos. Este contiene un sistema mecánico que permite la fácil adaptación a las sillas de ruedas convencionales, logrando impulsar de forma continua según lo requiera el usuario a cargo.

El prototipo electrónico motorizado está compuesto de varias partes electrónicas, las cuales serán mencionadas a partir de este punto.

2.2.1 Motor DC.

Un motor DC es una máquina que convierte la energía eléctrica en mecánica, principalmente mediante el movimiento rotatorio, para ello estos emplean corriente eléctrica para generar el movimiento de rotación

El funcionamiento de un motor eléctrico está fundamentado en la fuerza de Lorenz la cual consiste de una fuerza que aparece sobre una carga cuando está bajo los efectos de algún campo eléctrico debido a la acción de un campo magnético cuando dicha carga está en movimiento [8].

Un motor eléctrico está compuesto por varias partes, entre las más importantes están [9]:

- Cilindro. - Este está adosado al eje del motor, y posee varias ranuras sobre su superficie en donde se ubica el bobinado.
- Rotor. - Forma la parte móvil del motor. Es el elemento de transferencia mecánica, de él depende la conversión de energía eléctrica a mecánica.
- Estator. - Forma la parte fija del motor. Es el elemento que opera como base, permitiendo que desde ese punto se lleve a cabo la rotación del motor. El estator no se mueve mecánicamente, pero si magnéticamente.
- Bobinado. - Comprende de un cable que se muestra enrollado en diversas espiras. Por el inicio de este cable es por donde entra la corriente eléctrica, la cual sale por el otro extremo.
- Escobillas. - Son las que se encargan de permitir que exista una conexión entre la parte giratoria y la parte fija del motor eléctrico.

Existe una amplia variedad de motores eléctricos, y la elección de un motor depende de la aplicación y el costo del mismo. Para aplicaciones en sillas de ruedas existen dos tipos de motores, los motores de corriente continua con escobillas y los motores brushless o BLDC.

Motor DC con escobillas

Estos motores reciben la corriente mediante el contacto entre las escobillas y el conmutador, donde las escobillas permanecen fijas y el conmutador gira entre las escobillas siguiendo el movimiento del rotor.

El contacto entre las escobillas y el conmutador hace que la corriente pase a lo largo del devanado del rotor haciendo que sus polos sean atraídos y repelidos por los polos del devanado del estator, de tal manera que el polo norte del rotor mire al polo sur del estator.

Inmediatamente se produce un cambio de corriente que pasa por el rotor debido a que el conmutador al girar cambia los contactos con las escobillas invirtiendo la polaridad.

El cambio de polaridad modifica los signos de los polos del devanado del rotor haciendo que estos sean repelidos por los polos del estator que se encuentra fijo, en esta situación estarán enfrentados polos de igual signo, con lo cual el rotor se ve obligado a seguir girando.[10]

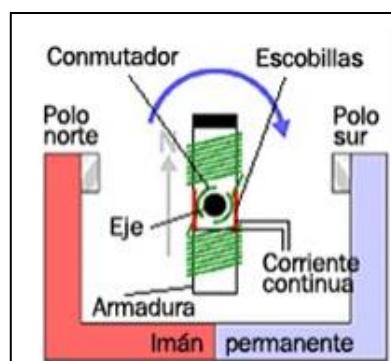


Figura 2.6 Motor DC con escobillas [10]

Los motores con escobillas para aplicaciones en sillas de ruedas presentan desventajas debido a:

- Producen rozamiento
- Disminuye su rendimiento
- Desprenden calor y ruido
- Requieren mucho mantenimiento

Motores DC sin escobillas o brushless (BLDC)

Su mecanismo consiste en sustituir la conmutación mecánica generada por las escobillas, por una conmutación electrónica sin contacto.

A diferencia de los motores con escobillas donde sus fases se realizan internamente de forma mecánica, los motores brushless realizan una conmutación electrónica para controlar independientemente las corrientes y voltajes aplicados a cada bobinado del motor.

Para esto la espira solo es impulsada cuando el polo es el correcto, caso contrario corta el suministro de corriente.

La posición de la espira del rotor se realiza mediante la detección de un campo magnético. Este sistema puede informar la velocidad de giro, si el motor está detenido, incluso cortar la corriente si está detenido para evitar que se queme.

Para aplicaciones estos motores presentan las siguientes ventajas [11]:

- Mayor velocidad en relación con las características de torque
- Alta eficiencia
- Larga vida útil
- Son silenciosos
- Son económicos a diferencia de los motores con escobillas
- Son más ligeros
- Requieren menos mantenimiento
- Control de velocidad con equipos electrónicos



Figura 2.7 Estotor de un BLDC [11]

Elección del motor

La mayoría de las sillas de ruedas eléctricas hacen uso de dos motores eléctricos acoplados a las llantas traseras de la silla (un motor por llanta), los cuales se encargan de establecer la velocidad y dar dirección a la silla.

Debido a que nuestro producto consiste en un sistema similar a una bicicleta, solamente dispondremos de un solo motor.

Para optimizar el espacio y peso del producto se escogerá usar un motor brushless que esté integrado en una llanta, el cual recibe el nombre de Hub motor.



Figura 2.8 Llanta motorizada

Los Hub motor son conocidos como llantas motorizadas (ver figura 2.8), las cuales son diseñados con motores brushless de diferentes potencias que varían entre 180w hasta 1000w; sin embargo debido a su excesiva potencia, estos deben ser regulados con un controlador de velocidad.

2.2.2 Controlador de velocidad y potencia.

Los motores de corriente continua permiten un fácil control de su velocidad debido a que este depende de la tensión de alimentación.

Para el control de velocidad se mantiene la corriente que circula por el inductor o estator constante y se regula la tensión en el rotor o inducido. De esta manera la velocidad del motor depende directamente de la tensión que se le aplique [8].

Importancia del controlador de velocidad

El controlador es la parte esencial del sistema debido a que es el encargado de procesar las señales y distribuir la energía. Cuando este se activa, se puede poner en marcha el motor, así mismo se puede detener el motor y habilitar los diferentes componentes electrónicos que se encuentren conectados en él.

El controlador también ofrece la potencia necesaria para poder accionar el motor, debido a que los controladores entregan altas potencias, este debe estar protegido por una carcasa de aluminio para poder disipar el calor generado y así de esta forma evitar que el dispositivo se caliente [7].

La forma básica de los controladores se puede observar en la figura 2.9.



Figura 2.9 Controlador para llanta motorizada

2.2.3 Baterías

Una batería eléctrica también se conoce como acumulador eléctrico, que consiste en un equipo que almacena energía eléctrica mediante un proceso electroquímico para luego ser usada para alimentar circuitos eléctricos [12].

Esto es posible debido a que las baterías están compuestas por celdas electroquímicas las cuales almacenan energía para luego convertirlas en energía eléctrica.

Las celdas electroquímicas están formadas por un polo positivo (ánodo), un polo negativo (cátodo) y electrolitos que permiten que los iones se muevan entre los polos, lo que provoca que la corriente fluya fuera de la batería para cumplir su función, la cual consiste en alimentar un circuito eléctrico[12].

Una batería eléctrica presenta una serie de características las cuales mencionaremos [13]:

- **Energía específica.** – Es la cantidad de energía que la batería puede almacenar por unidad de peso; mientras más alto sea este valor, mejor será el rendimiento de la batería. Este valor se mide en Wh/kg el cual se lee vatios horas por kilogramos.
- **Potencia específica.**- Es la cantidad de potencia que la batería puede proporcionar por unidad de peso; mientras más alto sea este valor, mayor número de aplicaciones poseerá la batería. Se mide en W/kg lo cual se lee vatios por kilogramos.
- **Densidad de energía.** – Es la cantidad de energía que almacena la batería por unidad de volumen; mientras más alta, mejor. Se mide en Wh/l.
- **Eficacia.** – Es la fracción de electricidad que la batería entrega en proporción a la cantidad de electricidad que se ha necesitado para cargarla completamente. Mientras más alto sea este valor, mejor será el rendimiento de la batería. Este valor se mide en porcentaje %.
- **Numero de ciclos de carga y descarga.** – Como su nombre lo indica, corresponde al número de veces que la batería puede ser recargada para recobrar su capacidad completa después de ser usada. Prácticamente indica el tiempo de vida útil de la batería. Mientras más alto sea este valor, mejor.
- **Tiempo de recarga normal.** – Es el tiempo que tarda la batería en recargarse por completo. Mientras más corto sea este valor, mejor.
- **Tiempo de recarga rápido (50% - 99%).** – Representa el tiempo de recarga necesaria para que la batería alcance la mitad de su capacidad máxima o el 99% de su capacidad máxima. Mientras más corto, mejor.

Hay varios tipos de baterías cuya presentación difieren en forma y tamaño, esto se debe a que las baterías pueden alimentar cualquier clase de circuito eléctrico en la Tabla 2.1 se mencionan algunos ejemplos, cuyas aplicaciones van desde un simple reloj de mano hasta un motor eléctrico.

Debido a que las baterías pueden alimentar cualquier circuito eléctrico, se han implementado técnicas de fabricación para optimizar el uso de las baterías, esto es debido a que un circuito más complejo puede demandar un mayor consumo de energía provocando que las baterías se descarguen con rapidez (ver Tabla 2.1).

Tabla 2.1 Datos característicos de diferentes baterías

Tipo De Batería	Energía Específica (Wh/Kg)	Potencia Específica (W/Kg)	Carga/ Descarga (Ciclos)	Eficacia (%)	Aplicaciones Principales
Carbono/Cinc	65		$\frac{3}{4}$		Linternas, Transistores, Juguetes,
Litio	260		$\frac{3}{4}$		Calculadora, Abridores de puertas de garaje, Equipo fotográfico
Alcalina/Manganeso					Aplicaciones alcalinas, Walkman, Juguetes
Cinc/Acido	100		$\frac{3}{4}$	50	Lámparas, Juguetes, Equipos médicos
Plomo/Acido	35		300-400	70-80	Coches, Suministros de energía de emergencia
Ion Li	200		>1000	98	Artículos electrónicos, Productos electrónicos portables

Baterías con nuevas tecnologías.

- **Batería de Níquel-Cadmio (NiCd)**

Estas baterías poseen su polo negativo y su polo positivo en el mismo recipiente; su polo positivo se encuentra cubierto con hidróxido de níquel y el polo negativo se encuentra cubierto de un material sensible al cadmio, estos polos se encuentran aislados por un separador.

Estas baterías van perdiendo su tiempo de vida cada vez que son recargadas [13].

- **Batería de Níquel-Hidruro Metálico (NiHM)**

Estas baterías usan hidrógeno en el proceso de producción de energía. Generalmente pueden almacenar un 30% más de energía que una batería de NiCd del mismo tamaño. Estas baterías son hechas con metales como el Titanio, Zirconio, Vanadio, Níquel y el Cromo, es debido a estos que su costo es elevado [13].

- **Batería Li-ion**

Es una batería de bajo mantenimiento, poseen una buena capacidad de almacenamiento de energía y la resistencia a la descarga es muy alta.

Estas baterías presentan una capacidad superior y un menor peso en comparación con las baterías de NiCd y NiHM, pero sin embargo su costo es mucho más alto.

Su bajo peso se debe a que el Litio es el metal más ligero que existe, debido a que solo posee tres protones, lo cual conlleva que su peso atómico sea muy bajo [13].

Elección de la batería.

Para este proyecto se utilizó una batería de Litio de 36v y 9Ah, debido a que estas baterías de Litio tienen grandes ventajas frente a baterías que usan otras tecnologías (ver Tabla 2.1), por su flexibilidad:

- No es necesario cargarlas al máximo cada vez que se usan.
- No es necesario un uso continuo.
- No es necesario descargarlas completamente cada vez que se usan.

Esta batería viene equipada por una carcasa que ofrece protección a las pilas y a los circuitos que se encuentran dentro como se muestra en la figura 2.10.



Figura 2.10 Batería de litio 36v 9Ah

CAPÍTULO 3

3. DISEÑO Y MODELADO DEL SISTEMA ELECTROMECANICO

El sistema diseñado está compuesto por dos partes, una de ellas es la silla de ruedas que pertenece al usuario beneficiado, la cual puede variar de forma dependiendo de su marca o fabricante, por otro lado, tenemos el prototipo electrónico motorizado el cual se acopla a la silla mencionada haciendo uso de un diseño mecánico que facilita la unión de las partes y el fácil montaje de un componente sobre otro. Estos se definirán como módulos que mediante un acoplamiento de tipo mecánico permitirá la correcta integración de ambas partes dando como resultado una silla de ruedas modificada con movimiento generado de forma eléctrica.

3.1 Descripción general del sistema

Módulo 1: Silla de ruedas.

Tal como se puede apreciar en la figura 3.1, la silla de ruedas no sufrirá mayores alteraciones para el diseño, sino más bien un pequeño cambio en su parte inferior en donde se insertará una pieza mecánica diseñada para el acoplamiento de un dispositivo externo.



Figura 3.1 Diagrama Módulo 1

Módulo 2: Sistema electrónico motorizado.

El sistema electrónico motorizado contiene una parte eléctrica y otra mecánica que funcionan en conjunto para realizar la función de interés. Por un lado, la parte eléctrica/electrónica está conformada por un motor acoplado a una llanta para generar su movimiento, esta a su vez se encuentra conectados a un controlador de velocidad el cual recibe órdenes desde un acelerador electrónico, esto le permite apagar, encender y otorgar las revoluciones necesarias según la necesidad del usuario. La fuente de alimentación de estos componentes eléctricos y electrónicos proviene de una batería de litio ubicada en la parte delantera del sistema electrónico motorizado.

El conjunto eléctrico/electrónico no podrá ser encendido o utilizado sin antes pasar por el bloqueo de seguridad para el usuario formado por un Arduino y un relé que funcionan en conjunto para evitar el uso del sistema por agentes externos no deseados.

Este proceso eléctrico/electrónico se puede apreciar en la figura 3.2 que muestra las etapas que el dispositivo debe seguir para su funcionamiento.

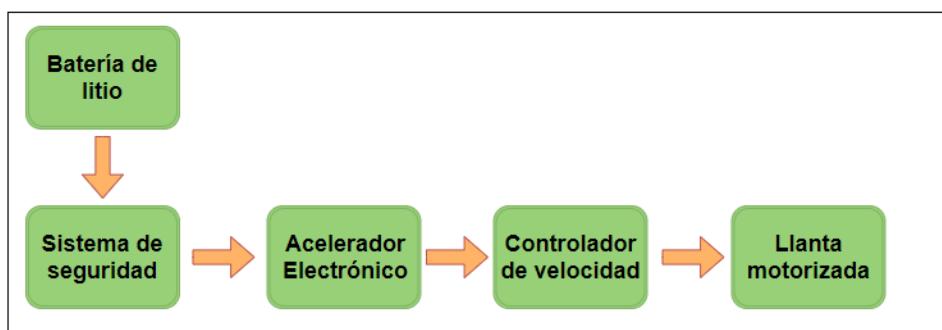


Figura 3.2 Diagrama módulo 2: Parte eléctrica/electrónica

La parte mecánica del módulo 2 que se presenta en la figura 3.3, es semejante al funcionamiento de una bicicleta común, tomando esto como referencia el diseño consta de un tubo de eje en donde se tiene un manillar en la parte superior y una horquilla para unir la llanta en su parte inferior, también posee

frenos y amortiguadores puramente mecánicos y el respectivo acoplador para integrar todo lo mencionado a la silla de ruedas (ver figura 3.3). Se debe tener en claro que el sistema eléctrico/electrónico se encuentra montado y distribuido a lo largo de la estructura mecánica descrita, lo cual se podrá observar en páginas posteriores.

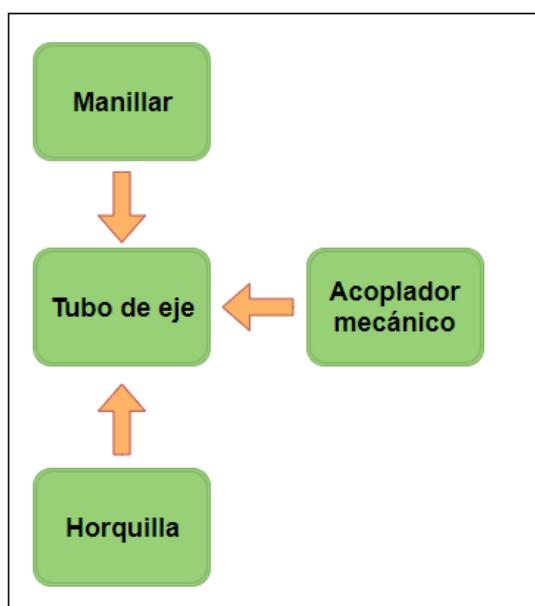


Figura 3.3 Diagrama módulo 2: Parte mecánica

Esquema total del diseño.

La figura 3.4 muestra el diagrama de flujo del diseño total, el cual no es más que la unión de los componentes y partes detallados anteriormente, conociendo que los módulos 1 y 2 se mantendrán integrados gracias al sistema de acoplamiento mecánico que permite unir el tubo de eje a la silla de ruedas, permitiendo que al momento de que el sistema motorizado genere el movimiento, estos puedan desplazarse en conjunto.

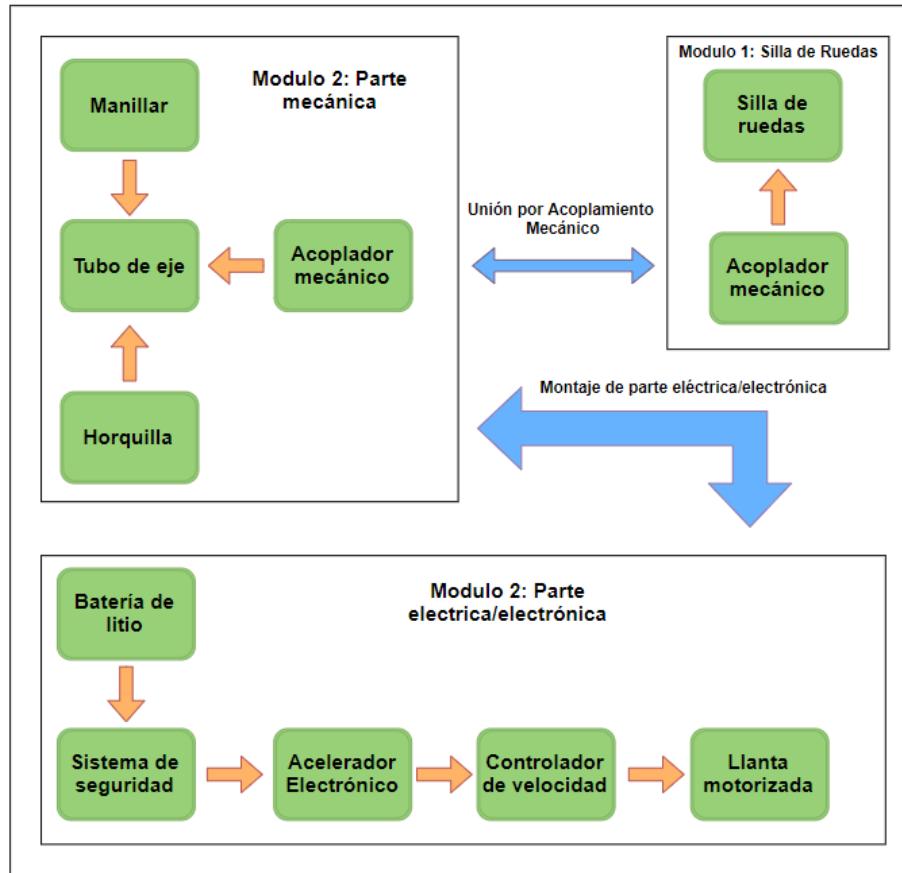


Figura 3.4 Diagrama de flujo total del sistema

3.2 Escenario e implementación.

El sistema electrónico motorizado busca ser un mecanismo individual, que se acople a una silla de ruedas manual, teniendo como fin poder otorgarle un movimiento controlado al usuario mediante el uso de un sistema de mandos básicos. Por lo tanto, este sistema debe tener la fuerza necesaria para poder sacar de la inercia y otorgar un movimiento continuo durante un tiempo determinado, venciendo el peso propio del sistema y el de la silla de ruedas en la cual se encuentra ubicado el usuario. Se tiene en cuenta que los usuarios que utilizan una silla de ruedas pueden tener diferentes edades, contexturas corporales y por lo tanto pesos totalmente diferentes, por otro lado, las sillas de ruedas también pueden tener diferentes variantes de formas dependiendo del uso del proveedor tal como se mencionó en secciones anteriores, esto

provoca que el diseño deba ajustarse a este tipo de variantes para de esta forma satisfacer la mayor cantidad de casos posibles.

3.2.1 Escenario planteado.

Para la implementación y diseño del prototipo electrónico motorizado se planteó un escenario específico en el cual se tomó las características físicas de la persona (las cuales constan en la tabla 3.1) y la silla de ruedas para las cuales se desarrolló el prototipo (ver tabla 3.2).

En base a los datos obtenidos se plantean a continuación una serie de cálculos que permiten conocer los requerimientos técnicos necesarios para un correcto funcionamiento del equipo.

Tabla 3.1 Datos del Usuario para escenario planteado

Usuario: Carlos Poveda Rosales	
Edad(años)	57
Motivo de afectación en extremidades inferiores	Diabetes
Afectación	Pérdida de pierna izquierda por amputación.
Peso(Kg)	56
Altura(metros)	1.68
Observaciones	El usuario utiliza su pierna derecha para movilizarse de forma diaria, usando muletas o ayudándose con esta para empujar la silla.

Tabla 3.2 Datos de la silla de ruedas para escenario planteado

Herramienta: Silla de ruedas	
Años de uso	6 años
Tipo	Silla de ruedas manual plegable
Marca	Desconocida
Peso (Kg)	17.5
Ancho del asiento(cm)	50
Profundidad del asiento(cm)	43
Diámetro de ruedas traseras(cm)	60
Diámetro de ruedas delanteras(cm)	20
Altura de la silla (cm)	95
Distancia entre piso y asiento(cm)	46
Altura del espaldar(cm)	49

Criterios de diseño para prototipo motorizado electrónico.

a) Criterio en base a las características del usuario:

- El usuario sufre de diabetes, por lo que el prototipo debe contar con las protecciones del caso de tal forma que este no cause heridas en el cuerpo del usuario por algún desperfecto en su estructura.
- El usuario sufre de una afectación parcial, por lo que este aún puede hacer uso de una de sus piernas. Por ello el prototipo debe poseer una separación considerable a la silla de ruedas para que esta no afecte la comodidad del usuario, además debe constar de los apoya pies de la silla para ubicar su extremidad inferior cuando este se desplaza.

- El usuario no puede mantener el equilibrio debido a la pérdida de una de sus piernas, por lo que el prototipo debe tener el menor peso posible y poseer un fácil montaje.
- El usuario posee una edad avanzada, por lo que los controles deben ser fáciles e intuitivos de usar.

b) Criterio en base a las características de la silla:

- La silla de ruedas del usuario es de características plegable, por lo que el prototipo debe acoplarse de tal forma que no afecte esta característica de la silla.
- La silla de ruedas posee un peso considerable en relación con el del usuario siendo necesario que el prototipo pueda ejercer la fuerza suficiente para sacarla del reposo sumándole el peso de su dueño.
- La silla de ruedas tiene un tiempo de uso prolongado deteriorando su estructura, por lo tanto, los elementos que se acoplen deben ser en las partes mejores conservadas para evitar daños en su estructura.

3.3 Cálculos teóricos para movimiento del prototipo.

El prototipo electrónico motorizado deberá tener la capacidad de mover al usuario junto a silla de ruedas de forma constante durante ciertas jornadas de tiempo, siendo necesario obtener la potencia que debe requerir el motor para realizar dicha tarea, por lo cual se aplicaron los siguientes cálculos teóricos en donde se analiza la fuerza necesaria que se debe tener para ejercer movimiento al sistema.

Cálculos para terreno plano.

Se realizó el cálculo correspondiente para un terreno plano, siendo este el más común a encontrarse durante el uso de la silla de ruedas. Por lo cual se establece un diagrama de cuerpo libre como se muestra en la figura 3.5 para determinar las fuerzas involucradas en el esquema planteado y obtener un resultado aproximado.

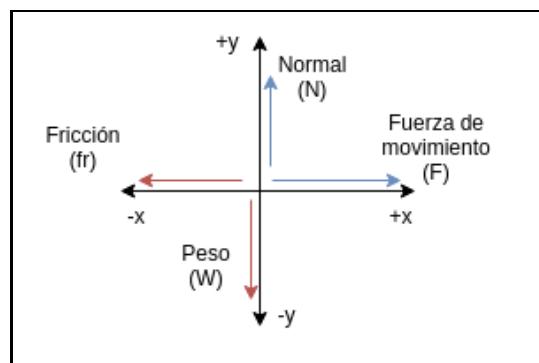


Figura 3.5 Diagrama de cuerpo libre 1

Se asumen fuerzas positivas en el sentido del eje de las (x) y (y) positivas

Sumatoria de fuerzas en el eje y.

$$\Sigma F_y = m * a \quad (3.1)$$

Usando la ecuación 3.1 de sumatorias de fuerza en el eje "y" la cual permite establecer la relación existente entre pares de fuerzas en sentido vertical que afectan al cuerpo analizado, y asumiendo que no existe aceleración en el eje y, se obtiene:

$$\Sigma F_y = m * (0)$$

$$\Sigma F_y = 0$$

Por lo tanto, las fuerzas en el eje "y" involucradas son el peso total de la silla de ruedas junto al usuario y la reacción ante esta la cual se define como fuerza normal.

$$N - W = 0 \quad (3.2)$$

$$N = W$$

Resolviendo la ecuación 3.2 donde se realiza un despeje de variables para establecer una igualdad en la ecuación, se puede verificar que la fuerza normal para este caso es igual al peso de la silla de ruedas junto con el usuario.

Sumatorias de fuerzas en el eje x.

$$\Sigma F_x = m * a \quad (3.3)$$

La fuerza involucrada en este eje es la fuerza necesaria para sacar del reposo al cuerpo y la fuerza de fricción que ejerce oposición al movimiento, por lo cual utilizando la ecuación 3.3 la cual determina la suma de los pares de fuerzas aplicados al cuerpo analizado en sentido horizontal se tiene lo siguiente:

$$F - fr = m * a$$

$$F = (m * a) + fr \quad (3.4)$$

Usando la ecuación 3.4 y asumiendo que el cuerpo se encuentra en reposo al inicio del movimiento, se puede despreciar la aceleración y concluir que la fuerza necesaria para mover el cuerpo debe ser mayor a la fuerza de fricción que ejerce la oposición.

$$F = fr \quad (3.5)$$

La fuerza de fricción es la oposición al movimiento de los cuerpos, la cual puede definirse como el coeficiente de fricción por la normal que se aplica al objeto:

$$fr = \mu_E N \quad (3.6)$$

Usando la ecuación 3.2 en la ecuación 3.6 se puede reemplazar la Normal por el peso, obteniendo:

$$fr = \mu_E W \quad (3.7)$$

Tomando en cuenta que el peso, equivale a:

$$W = mg \quad (3.8)$$

La ecuación 3.5 puede definirse de la siguiente manera al reemplazar todas las variables anteriormente mencionadas.

$$F = m * g * \mu_E * \cos (\theta) \quad (3.9)$$

Cálculos para terreno inclinado.

Es de suma importancia tener los cálculos respectivos para terrenos inclinados (ver figura 3.6), ya que es común encontrarse con rampas diseñadas en las calles para que puedan dar acceso a la silla de ruedas, por lo cual se detalla lo mencionada en esta sección:

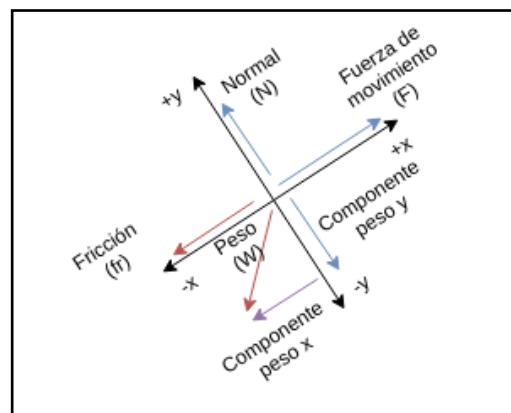


Figura 3.6 Diagrama de cuerpo libre 2

Se asumen fuerzas positivas en el sentido del eje de las (x) y (y) positivas

Sumatoria de fuerzas en el eje y.

Para este caso específico se asume que el terreno por donde circula la silla de ruedas se encuentra en un terreno inclinado, por lo cual se debe considerar una variable que represente dicho factor, esta será el ángulo de inclinación que posee la superficie.

$$\Sigma F_y = m * a$$

Asumiendo que no existe aceleración en el eje y utilizando la ecuación 3.1 se tiene:

$$\Sigma F_y = m * 0$$

$$\Sigma F_y = 0$$

Por lo tanto, las fuerzas en el eje “y” involucradas son una de las componentes del peso total de la silla de ruedas junto al usuario y la reacción ante esta la cual se define como fuerza normal.

$$N - W \cos\theta = 0 \quad (3.10)$$

Resolviendo la ecuación 3.10, se verifica que para este caso la fuerza normal es igual a la componente del peso en el eje y, concluyendo como la inclinación del terreno se convierte en un factor clave que afecta en el movimiento.

$$N = W \cos\theta$$

Sumatorias de fuerzas en el eje x para el terreno inclinado.

$$\Sigma F_x = m * a$$

Las fuerzas involucradas en el eje de las x, son la fricción que se opone al movimiento, la componente del peso en este eje y la fuerza necesaria para sacar del reposo al cuerpo.

$$F - W \sin \theta - fr = m * a$$

$$F = m * a + fr + W \sin \theta \quad (3.11)$$

Usando la ecuación 3.11 y asumiendo que el cuerpo se encuentra en reposo para el inicio del movimiento se puede despreciar la aceleración para el cálculo:

$$F = m(0) + fr + W \sin \theta$$

Para el caso en donde existe un equilibrio de fuerzas en el eje x y por lo tanto no existe movimiento.

$$F = fr + W \sin \theta$$

Por lo cual se debe ejercer una fuerza superior a la de fricción más la componente del peso en x, comprobando que el factor de inclinación del terreno obliga a generar una fuerza mayor para poder generar movimiento en la silla de ruedas.

$$F = NU_e + W \sin \theta$$

$$F = U_e W \cos \theta + W \sin \theta \quad (3.12)$$

Valores referenciales calculados para la elección del motor.

Los cálculos realizados a continuación son en base a las características del paciente y del prototipo motorizado acoplado a la silla de ruedas, para esto se utilizan las ecuaciones teóricas mostradas anteriormente para terreno plano e inclinado.

Tabla 3.3 Variables y constantes a considerar

Parámetros	Unidad	Descripción
M	Kg	Masa de todo el sistema
G	m/s ²	Fuerza de gravedad
Cr	Adimensional	Coeficiente de fricción de los neumáticos
θ	grados sexagesimales	Ángulo de elevación del terreno

Tabla 3.4 Masas del sistema.

Involucrados	Peso
Usuario	56 Kg
Silla de ruedas	17.50 Kg
Prototipo motorizado	15.01 Kg
Total	88.51 Kg

Tabla 3.5 Valores para constantes y variables consideradas.

Parámetros	Valor
M	88.51 Kg
G	9.80 m/s ²
μ_E	0.008
θ	6°

En base a estos criterios, la fuerza necesaria del motor para poder generar movimiento en la silla de ruedas debe tener un equivalente de:

Usando la ecuación 3.9 y considerando un terreno plano en donde θ equivale a 0, la fuerza requerida es:

$$F = m * g * \mu_E * \cos(\theta)$$

$$F = (88.51)(9.8)(0.008)(1)$$

$$F = 6.98 \text{ N}$$

Para determinar la potencia requerida del motor, se debe de multiplicar la fuerza obtenida del sistema por la velocidad que se desee alcanzar.

$$P = m * g * \mu_E * \cos(\theta) * v \quad F = m * g * \mu_E * \cos(\theta) * v \quad (3.13)$$

Usando la ecuación 3.13 y asumiendo que se desea alcanzar una velocidad máxima de 10 km/h, entonces la potencia requerida del motor será:

10 km/h es equivalente a 2.78 m/s

$$P = (6.98)(2.78)$$

$$P = 19.40 \text{ W}$$

Usando la ecuación 3.12 para un terreno inclinado en donde la pendiente máxima es de 10 grados, la fuerza requerida es:

$$\begin{aligned} F &= m * g * \mu_E * \cos(\theta) + m * g * \sin(\theta) \\ F &= (88.51)(9.8)(0.008)\cos(10) + (88.51)(9.8)\sin(10) \\ F &= 97.57 \text{ N} \end{aligned}$$

Para determinar la potencia requerida del motor, se debe de multiplicar la fuerza obtenida del sistema por la velocidad que se desee alcanzar.

$$P = [m * g * \mu_E * \cos(\theta) + m * g * \sin(\theta)] * v \quad (3.14)$$

Asumiendo que se desea alcanzar una velocidad máxima de 10 km/h, la potencia requerida del motor será:

$$P = 97.57 * 2.78$$

$$P = 271.24 \text{ W}$$

3.4 Diseño del prototipo electrónico motorizado.

Una vez establecidos los criterios de diseño y los cálculos respectivos para la potencia necesaria del motor, se utilizó un software para diseño mecánico en 3 dimensiones que permitieron ubicar las medidas reales tomadas a partir de la silla de ruedas y el usuario para de esta forma obtener un resultado previo a la implementación que sirviera de guía al momento de la construcción respectiva del sistema. En base a los criterios de diseño se estableció que el material apropiado para la construcción era aluminio ya que tenía un peso reducido, siendo 50% más liviano que el acero. También se consideró a la fibra de carbono como otra opción pero que al momento no se encontraba dentro del presupuesto establecido para la compra de los materiales, además de carecer de un proveedor apropiado para adquirir componentes de ese estilo. En la figura 3.7 se puede apreciar el eje principal del prototipo sobre el cual se montarán los componentes electrónicos.

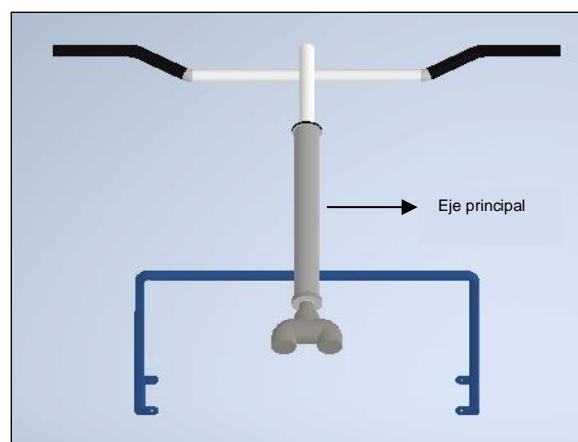


Figura 3.7 Diseño para tubo direccional

Luego de esto se determinó el tamaño apropiado de la llanta motorizada para posteriormente ubicar en la horquilla del eje principal (ver figura 3.8). Junto a esta se colocó una pequeña caja diseñada para que se ingrese el controlador del motor.

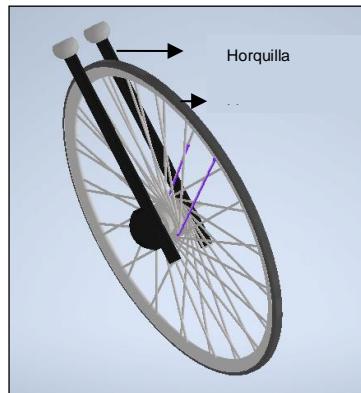


Figura 3.8 Diseño llanta motorizada

Para finalizar se agregó el mecanismo de acople al eje principal, para esto se utilizaron dos tubos de aceros que fueron soldados directamente sobre este, se reforzó la estructura agregando nervios del mismo material en distintas partes de los tubos para que pueda soportar el peso de la silla, debido a que esta se encontrara ligeramente suspendida.

La figura 3.9 muestra el diseño final del prototipo con todos sus componentes.

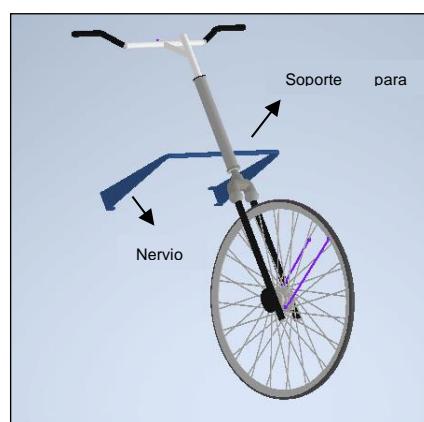


Figura 3.9 Diseño total del sistema

3.5 Diseño del sistema de seguridad para el prototipo motorizado.

El prototipo motorizado tiene la opción de integrarse con un sistema de seguridad el cual consiste en digitar una clave a través de un teclado.

El usuario al momento de encender el equipo deberá introducir una clave de cuatro dígitos para que el sistema se active y pueda ser operado, caso contrario el sistema no funcionara; este sistema de seguridad tiene la finalidad de evitar que cualquier persona opere el equipo, es decir, solo la persona autorizada lo podrá operar.

El sistema estará alimentado por la batería de litio de 36V, pero debido a que un “Arduino uno” solo soporta hasta 12V se debe de acoplar un regulador de voltaje para disminuir los 36 voltios de la batería a 5 Voltios para alimentar el Arduino. El circuito para la regulación de voltaje se muestra en la figura 3.10

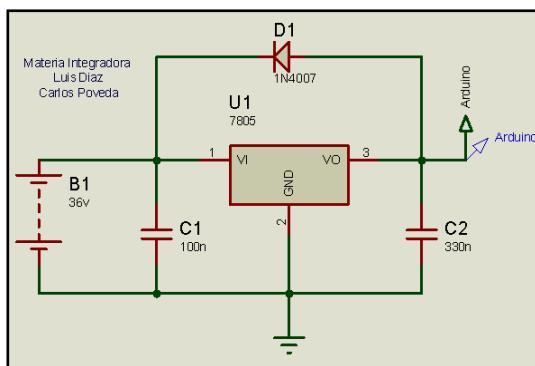


Figura 3.10 Circuito regulador de voltaje

El sistema de seguridad está compuesto por un Arduino uno, un relé para Arduino y un teclado compatible con Arduino, este sistema será alimentado con 5 voltios DC. La figura 3.11 muestra los elementos electrónicos necesarios y las conexiones de estos para la implementación del sistema de seguridad.

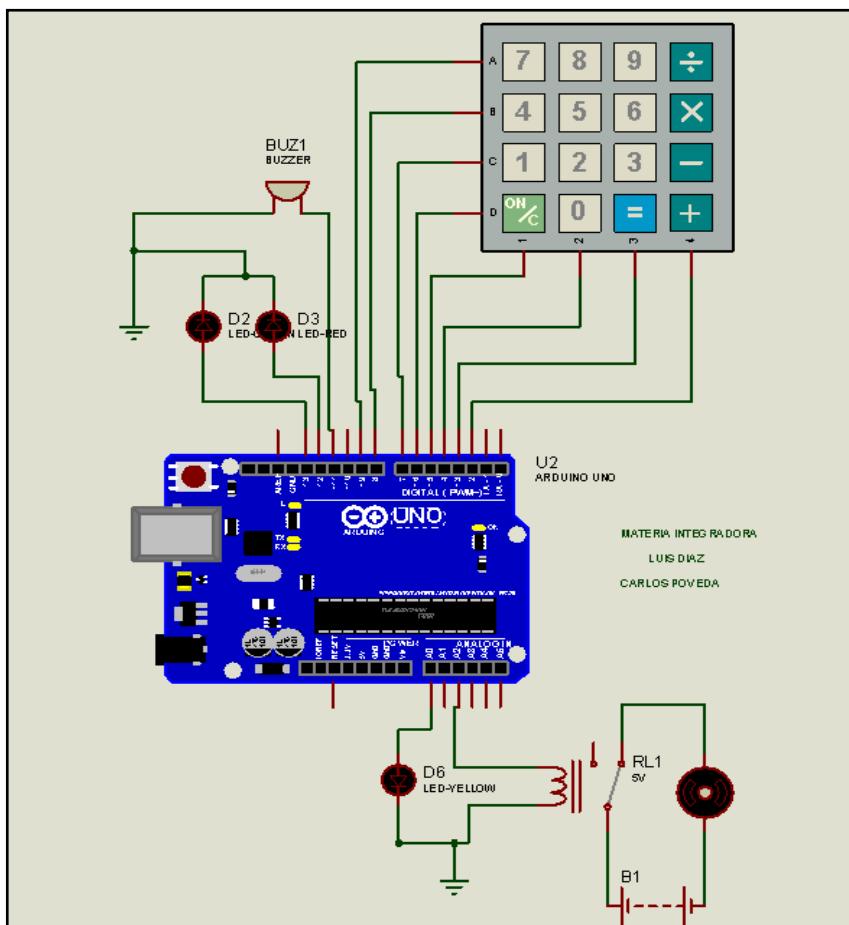


Figura 3.11 Circuito final del sistema de seguridad

3.6 Implementación y montaje del prototipo.

En base a los cálculos realizados en la sección anterior, concluimos que la potencia del motor debe ser de 278 W, sin embargo, en el mercado ecuatoriano no venden este tipo de motores, por lo cual mediante una compra online se adquirió una llanta motorizada de aro 26" de 250W como se muestra en la figura 3.12. El dispositivo motorizado adaptable debe poseer la misma altura de la silla de ruedas, sin embargo, debido a que la llanta motorizada adquirida era muy grande, se tuvo que reducir el aro de la llanta para que el dispositivo se acople perfectamente a la silla de ruedas.



Figura 3.12 Llanta motorizada de aro 26"

Para ello se tuvo que retirar el aro de la llanta motorizada y acoplar un aro más pequeño como se muestra en la figura 3.13.



Figura 3.13 Llanta con aro reducido

En la figura 3.14 se puede apreciar, como una vez reducido el aro de la llanta se procedió a colocarle la llanta de caucho y el tubo respectivo.



Figura 3.14 Montaje del tubo y llanta

Se sujetó la llanta a la horquilla y luego se procedió a realizar el ajuste con pernos y tuercas. La llanta acoplada a la horquilla se puede ver en la figura 3.15



Figura 3.15 Montaje de la llanta en la horquilla

Se colocó la parte del manillar con sus respectivos frenos de seguridad como se muestra en la figura 3.16, los cuales fueron ajustados para que al ser presionados no detuviera la rueda de forma brusca.



Figura 3.16 Manillar con frenos

Se ingresó el controlador de velocidad dentro de su cubierta protectora como se muestra en la figura 3.17, para posteriormente ubicarla a un lado de la horquilla.

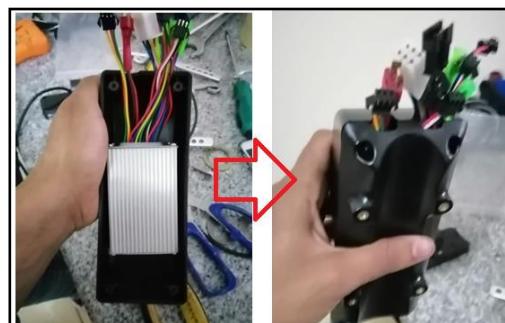


Figura 3.17 Protección del controlador

Una vez ubicado el controlador, se procedió a realizar las respectivas conexiones de los diferentes componentes que conforman el sistema, pudiendo ver este procedimiento en la figura 3.18.



Figura 3.18 Ubicación del controlador

El dispositivo final con sus elementos conectados y ubicados en sus respectivos sitios se puede apreciar en la siguiente imagen.



Figura 3.19 Dispositivo conectado

Para la parte del acople mecánico se utilizó la silla de ruedas para dimensionar la estructura del mecanismo de acople entre el dispositivo y la silla de ruedas, en base a los diseños realizados previamente, esto se puede apreciar en la figura 3.20.



Figura 3.20 Mecanismo de acople (vista lateral y frontal)

Una vez definido el mecanismo de acople, se procedió a darle el respectivo acabado para finalizar el dispositivo motorizado.

La figura 3.21 muestra el dispositivo motorizado ya finalizado.



Figura 3.21 Prototipo con acabado final

Para finalizar se acoplo el dispositivo electrónico motorizado a la silla de ruedas para verificar que ajustara de forma adecuada y no hubiera sufrido algún cambio mientras se realizaba el acabado final.

La siguiente imagen muestra el dispositivo motorizado acoplado a la silla de ruedas.



Figura 3.22 Dispositivo motorizado acoplado a la silla de ruedas convencional

CAPÍTULO 4

4. PRUEBAS Y RESULTADOS

Para la prueba del funcionamiento del sistema de seguridad, se simuló el circuito de seguridad con la ayuda del software Proteus, en donde se realizaron varias pruebas, las cuales se mencionan a continuación:

4.1 Funcionamiento del sistema de seguridad.

Al momento de encender el equipo motorizado adaptable, un led de color rojo (D3) empezará a parpadear (ver figura 4.1) en el panel de control del sistema de seguridad, lo cual nos estará indicando que debemos introducir una contraseña mediante un teclado.

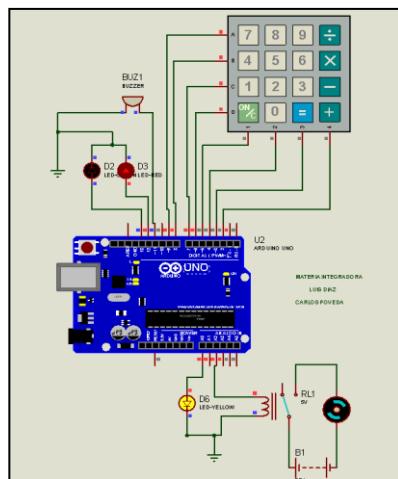


Figura 4.1 Diagrama del equipo antes de ingresar contraseña

Como se puede observar en la figura 4.1 el selector del relé se encuentra normalmente abierto (apuntando hacia la izquierda), al estar en esta posición no se cierra el circuito, lo cual impide el paso de corriente para accionar el equipo motorizado.

Al momento de ingresar la contraseña de cuatro dígitos automáticamente el Led de color rojo (D3) se apagará y se encenderá el led de color verde (D2),

lo cual indicará que se introdujo la contraseña correctamente; sin embargo, aún no se podrá usar el equipo motorizado.

Como se puede observar en la figura 4.2, el selector del relé aún se encuentra normalmente abierto (apuntando hacia la izquierda).

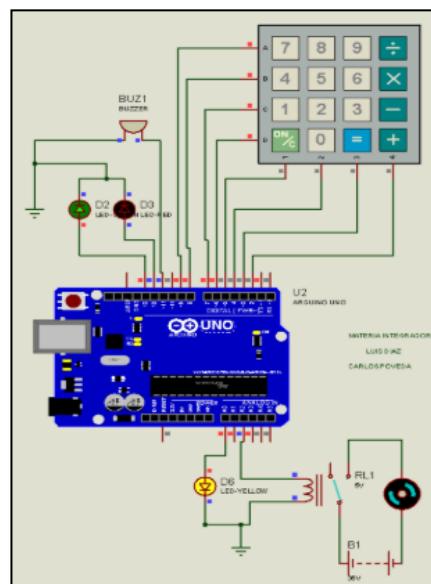


Figura 4.2 Diagrama del equipo después de ingresar contraseña

Una vez que se introdujo la contraseña correcta y se verificó observando que el led de color verde se encuentre encendido, se deberá presionar el botón “-” (para este ejemplo), para que el selector del relé cambie a la posición normalmente cerrada (apunte hacia la derecha) y así poder hacer uso del equipo motorizado (ver figura 4.3).

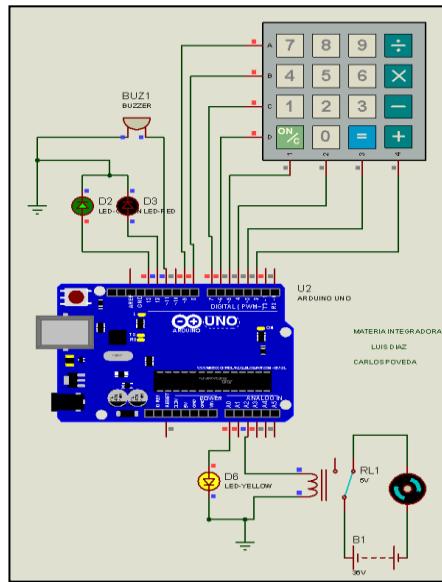


Figura 4.3 Diagrama del equipo cuando se activó el sistema

Si se vuelve a presionar el botón “-” el equipo se apagará automáticamente y deberá volverlo a presionar para que el equipo encienda. Para volver a activar el sistema de seguridad el usuario deberá presionar la tecla “on/c” (para este ejemplo), de esta forma el equipo motorizado adaptable estará en su modo seguro, es decir, el equipo pedirá que ingrese la contraseña para poder ser operado

4.2 Prueba del dispositivo motorizado.

El dispositivo motorizado consta con un selector de cinco velocidades, en el cual la primera posición del selector permite alcanzar una velocidad máxima de 11.5 km/h y de esta forma incrementar 2.5 km/h la velocidad hasta llegar a los 24 km/h para la última posición del selector.

Para las pruebas que se realizaron sólo se consideró la primera velocidad, debido a que las llantas de la silla de ruedas pasada esta velocidad presentaban vibraciones y movimientos de forma anormal producto del desgaste estructural que presentaba la silla por su tiempo de uso.

Para comprobar el funcionamiento del dispositivo, se realizaron varias pruebas, la cual consistió en realizar un recorrido sobre un terreno plano que tuviera múltiples rampas.

Para este recorrido se escogió las instalaciones de la ESPOL sobre todo el área de los laboratorios de electrónica debido a que este sector posee pasillos planos y consta con una subida de rampa para discapacitados, cumpliendo con las condiciones requeridas para efectuar las pruebas la cual consiste en realizar varias vueltas para comprobar la autonomía del dispositivo (ver figura 4.4).



Figura 4.4 Prueba de autonomía

Para efectuar estas pruebas se seleccionaron a tres personas con pesos diferentes (ver tabla 4.1) para que realicen el mismo recorrido, con el objetivo de comprobar si la característica física de una persona afecta el rendimiento del dispositivo motorizado.

Tabla 4.1 Pesos de los participantes.

Personas	Peso
Participante 1	65 Kg
Participante 1	69 Kg
Participante 1	79 Kg

Al momento de culminar con las pruebas, se pudo comprobar que el dispositivo motorizado:

- Fue capaz de movilizar a estas tres personas sin presentar algún problema o falla.
- Subió la rampa para discapacitados sin presentar fallas.
- Alcanzó la misma velocidad máxima para diferentes pesos (ver figura 4.5).



Figura 4.5 Velocidad máxima

4.3 Prueba de la batería

Para determinar la autonomía de la batería de litio del dispositivo motorizado, se procedió a realizar una serie de pruebas las cuales fueron divididas en dos etapas:

La primera etapa de la prueba de autonomía de la batería de litio consistía en:

- Seleccionar a seis personas con diferentes pesos debido a que en base a las ecuaciones planteada en la sección anterior pudimos determinar que el peso es un parámetro determinante en la fuerza requerida para mover la silla, afectando directamente a la potencia del motor y por lo tanto al funcionamiento eléctrico del sistema en donde está incluido la batería.
- Cada persona debía de realizar un recorrido continuo, hasta que la batería de litio del dispositivo motorizado se descargue por completo.
- El recorrido tenía como requisito que el dispositivo motorizado opere entre un rango de velocidad hasta 5Km/h.
- Cada persona debía de operar el dispositivo usando la primera posición del selector de velocidad.

Al momento de culminar con las pruebas de la primera etapa se pudo registrar los datos que se muestran en la tabla 4.2 que corresponden al tiempo de operación de la batería.

Tabla 4.2 Tiempo de duración de la batería en la primera etapa

Velocidad (0 - 5)Km/h		
Persona #	Peso	Duración de la batería
1	50.3 Kg	200 min
2	55.7 Kg	189 min
3	60.2 Kg	181 min
4	65.3 Kg	174 min
5	72.8 Kg	160 min
6	85.8 Kg	142 min

En base a la tabla 4.2 se calculará la media del tiempo de duración de la batería, el cual consiste en sumar todos los tiempos y dividirlos para el número de tiempos tomados, tal como se muestra en la ecuación 4.1.

$$t_m = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_N}{n} \quad (4.1)$$

Usando la ecuación anterior (Ecuación para cálculo de promedio) se puede calcular la media de la duración de la batería para un rango de velocidad de hasta 5Km/h:

$$t_m = \frac{\sum_{i=1}^6 t_i}{6} = \frac{200 + 189 + 181 + 174 + 160 + 142}{6}$$

$$t_m = 174.33 \text{ min}$$

En base al cálculo realizado previamente se pudo observar que el tiempo de duración de la batería de litio en la primera etapa es de aproximadamente tres horas.

La segunda etapa de la prueba de autonomía de la batería de litio consistía en:

- Seleccionar a las seis personas que realizaron las pruebas de la primera etapa
- Cada persona debía de realizar un recorrido continuo, hasta que la batería de litio del dispositivo motorizado se descargue por completo.
- El recorrido tenía como requisito que el dispositivo motorizado opere entre un rango de 5Km/h hasta un máximo de 10Km/h.
- Cada persona debía de operar el dispositivo usando la primera posición del selector de velocidad.

Al momento de culminar con las pruebas de la segunda etapa se pudo registrar los siguientes datos (ver tabla 4.3) que corresponden al tiempo de operación de la batería.

Tabla 4.3 Tiempo de duración de la batería en la segunda etapa

Velocidad (5 - 10) Km/h		
Persona #	Peso	Duración de la batería
1	50.3 Kg	176 min
2	55.7 Kg	168 min
3	60.2 Kg	152 min
4	65.3 Kg	140 min
5	72.8 Kg	130 min
6	85.8 Kg	110 min

Usando la ecuación para el cálculo de promedio se puede calcular la media de la duración de la batería para un rango de velocidad de 5 a 10 Km/h:

$$t_m = \frac{\sum_{i=1}^6 t_i}{6} = \frac{176 + 168 + 152 + 140 + 130 + 110}{6}$$

$$t_m = 146 \text{ min}$$

En base al cálculo realizado previamente se pudo observar que el tiempo de duración de la batería de litio en la segunda etapa es de aproximadamente dos horas y media.

En la Fig. 4.6 se puede observar que mientras mayor sea el peso que deba movilizar la silla, más rápido se descargara la batería de litio, esto se debe a que el motor del dispositivo motorizado debe de emplear mayor potencia para poder movilizar a personas con mayor peso, lo cual genera un desgaste mayor de energía de la batería.

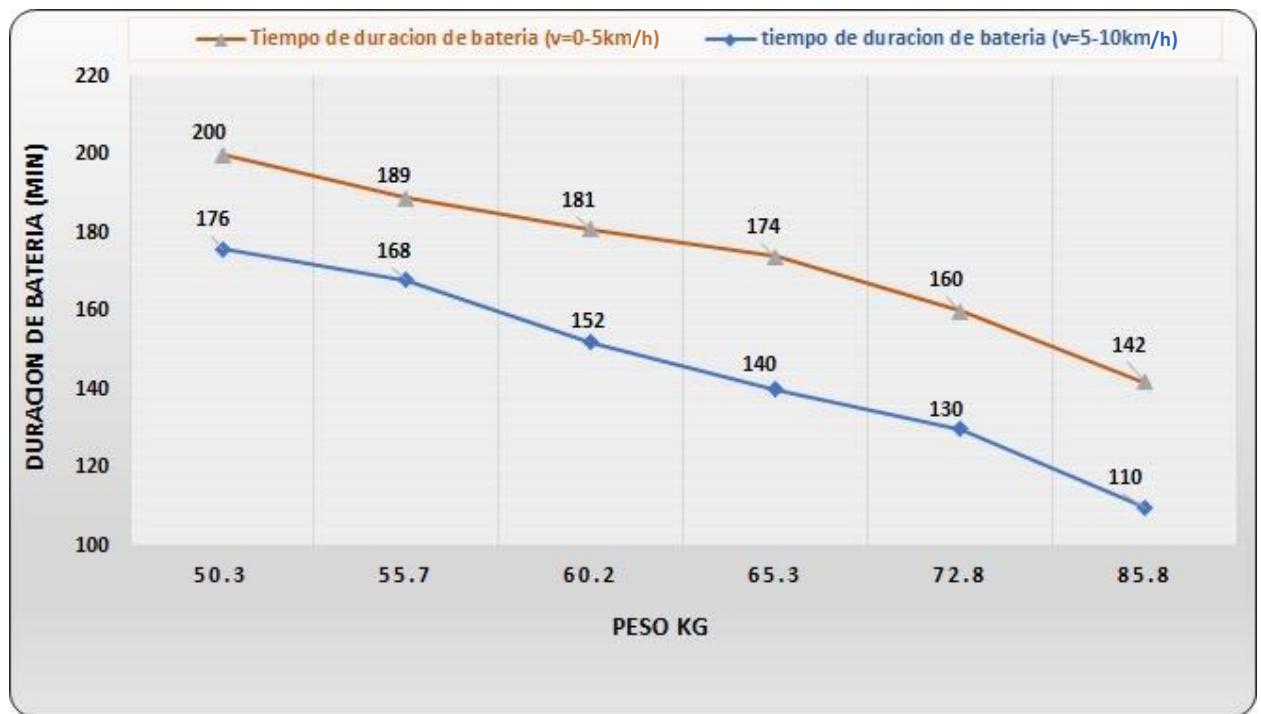


Figura 4.6 Gráfica del tiempo de duración de la batería para las dos etapas

4.4 Comparación de precios

Uno de los beneficios más resaltantes del dispositivo motorizado es que puede realizar la mayoría de las funciones básicas que puede hacer una silla de ruedas eléctricas.

El motivo de la comparación de precios es determinar cuál de varios productos similares son más accesibles y sean mejor adaptables a las necesidades de las personas.

Esto nos permitirá hacer una comparación de precios entre el dispositivo motorizado realizado en el presente proyecto y varias sillas de ruedas eléctricas de diferentes marcas que se comercializan en el país.

Para ello detallaremos en una lista (ver tabla 4.4) los componentes que se usaron para la implementación del dispositivo motorizado con su respectivo precio incluyendo la mano de obra.

Tabla 4.4 Lista de precios

Componente	Precio
Llanta motorizada 250W aro 26"	\$150.00
Batería de ion-Litio 36V 9Ah	\$300.00
Acelerador electrónico tipo pulsador	\$5.00
Controlador de velocidad 250W	\$35.00
Horquilla	\$20.00
Cuello para sujetar manillar	\$3.00
Manillar	\$5.00
Canastillas	\$2.00
Aro de bicicleta 20"	\$10.00
Llanta de caucho para aro 20"	\$3.00
Tubo para llanta 20"	\$2.00
Frenos	\$4.00
Manubrios	\$2.00
Reducción de llanta	\$10.00
Acoplamiento mecánico	\$90.00
Mano de obra	\$200.00
Precio final	\$836.00

La tabla 4.4 detalla que para la implementación del dispositivo motorizado se invirtió alrededor de \$836.00, sin incluir la mano de obra.

Para poder realizar la comparación de precios se consultaron varias sillas de ruedas eléctricas en diferentes centros de venta.

Sillas de ruedas eléctrica rumba	Silla de ruedas eléctrica fox	Prototipo electrónico motorizado
Velocidad máxima: 6 Km/h	Velocidad máxima: 6 Km/h	Velocidad máxima: 10 Km/h
Potencia: 200 W	Potencia: 200 W	Potencia: 250 W
Autonomía: 25 Km	Autonomía: 27- 40 Km	Autonomía: 25 Km
Precios: \$ 2198,24	Precios: \$ 2800,00	Precios: \$ 836,00

Figura 4.7 Comparación de precios

En la Fig. 4.7 se muestra los precios de dos sillas de ruedas eléctricas, y el dispositivo motorizado implementado.

Se puede observar que los diferentes equipos superan los \$2000.00, los cuales resultan ser muy costosos en comparación con el dispositivo motorizado implementado que alcanzó un valor de \$836.00

Esto implica que el dispositivo motorizado implementado es una opción económica que puede realizar las mismas funciones que posee una silla de ruedas eléctrica.

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Es posible adaptar un prototipo adaptador motorizado reduciendo los costos en comparación con una silla de ruedas eléctrica y otros dispositivos adaptadores existentes en el mercado
- Debido a las pruebas realizadas se determinó que el prototipo motorizado cumple con las características básicas para la autonomía de personas AMIRS, facilitando su traslado, reduciendo el cansancio y brindando facilidad de manejo.
- Los respectivos cálculos mecánicos deben realizarse previa la implementación eléctrica, asegurando la adquisición de componentes eléctricos o electrónicos en base a la demanda de corriente y voltaje.
- Para cumplir con el requerimiento del motor y la protección del usuario, se seleccionó una batería de litio sellada con una carcasa para evitar cualquier contacto directo entre el usuario y los componentes electrónicos de la batería.
- Para optimizar el peso del prototipo se escogió una llanta motorizada, debido a que un motor ocuparía mucho espacio y generaría un desbalance produciendo que la llanta gire hacia un lado, dificultando la operación del prototipo.
- Las diferentes formas de sillas de ruedas pueden complicar el sistema adaptable requiriendo estudiar una variedad de diseños para establecer un acoplamiento genérico apropiado.

Recomendaciones

- Se recomienda cargar las baterías a diario para evitar que estas se descarguen por completo ocasionando un mal funcionamiento del prototipo motorizado.
- Se sugiere no sobrepasar el peso máximo que soporta el prototipo para evitar sobrecargar el motor o dañar la estructura metálica.
- Es recomendable no presionar por completo el pulsador del acelerador para evitar que el prototipo alcance la velocidad máxima y así optimizar la duración de la batería
- Es preferible operar el prototipo a baja velocidad para que el usuario se familiarice con el manejo del equipo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1]Shimizu, "Discapacidad y salud", *Who.int*, 2019. [Online]. Available: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/disability-and-health>. [Accessed: 10- Jun- 2019].
- [2]C.N.D, "Estadísticas de Discapacidad – Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades", *Consejodiscapacidades.gob.ec*, 2019. [Online]. Available: <https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadisticas-de-discapacidad/>. [Accessed: 10- Jun- 2019].
- [3]P. Herrera Saray, I. Peláez Ballestasb, L. Ramos Lirac, D. Sánchez Monroyd and R. Burgos Vargasb, "Problemas con el uso de sillas de ruedas y otras ayudas técnicas y barreras sociales a las que se enfrentan las personas que las utilizan. Estudio cualitativo desde la perspectiva de la ergonomía en personas discapacitadas por enfermedades reumáticas y otras condiciones", Universidad Católica de Pereira UCP, Risaralda, Colombia, 2012.
- [4]I. Imserso, "Ceapat. Centro de Referencia Estatal de Autonomía Personal y Ayudas Técnicas Información publicación", *Ceapat.es*, 2019. [Online]. Available: http://www.ceapat.es/ceapat_01/centro_documental/publicaciones/informacion_publicacion/index.htm?id=618. [Accessed: 13- Aug- 2019].
- [5]Ortopedia, "Comprar Silla De Ruedas Manual Plegable Breezy 90 Sunrise Medical al mejor precio", *Ortopediaenlinea.com*, 2019. [Online]. Available: <https://ortopediaenlinea.com/sillas-ruedas-plegables/silla-ruedas-manual-plegable-breezy-90-sunrise-medical>. [Accessed: 13- Aug- 2019].
- [6]Bidea, "Diferentes tipos de sillas de ruedas para discapacitados - Bidea Salvaescaleras", *Bidea.es*, 2014. [Online]. Available: <https://www.bidea.es/noticias/diferentes-tipos-de-sillas-de-ruedas-para-discapacitados/>. [Accessed: 14- Aug- 2019].
- [7]Ortoweb, "Silla de tenis y pádel Quickie Match Point - Ortoweb", *Ortoweb.com*, 2019. [Online]. Available: <https://www.ortoweb.com/silla-de-tenis-quickie-match-point>. [Accessed: 13- Sep- 2019].

- [8]J. Rodriguez Arauz, "Motores eléctricos | Motor eléctrico | Corriente eléctrica", *Scribd*, 2009. [Online]. Available: <https://es.scribd.com/document/16387544/Motores-electricos>. [Accessed: 17- Sep- 2019].
- [9]A. Fitzgerald, C. Kingsley and S. Umans, *Electric machinery*, 6th ed. New York (Estados Unidos): McGraw-Hill, 2002, p.
<https://es.scribd.com/document/16387544/Motores-electricos>.
- [10]Pulido, "Motores eléctricos – Aprendemos tecnología", *Aprendemos tecnología*, 2012. [Online]. Available: <https://aprendemostecnologia.org/tag/motores-electricos/>. [Accessed: 02- Sep- 2019].
- [11]P. Yedamale, *Ww1.microchip.com*, 2003. [Online]. Available:
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00885a.pdf>. [Accessed: 05- Sep- 2019].
- [12]D. Ojeda Pereira and L. Ortiz Pineda, "Diseño y construcción de un prototipo de batería recargable para una bicicleta eléctrica tipo trike mediante el uso de baterías recicladas de ion de litio", Tesis Pregrado, Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, 2017.
- [13]I. Simon Carrasco, "BATERÍAS DE LITIO | Batería recargable | Batería de iones de litio", *Scribd*, 2009. [Online]. Available: <https://es.scribd.com/doc/22631266/BATERIAS-DE-LITIO>. [Accessed: 18- Sep- 2019].

ANEXOS

- ANEXO A Código Arduino para el controlador de seguridad.
- ANEXO B Datasheet de llanta motoriza.
- ANEXO C Datasheet de acelerador electrónico.

ANEXO A

Código Arduino para el controlador de velocidad

```
#include <Keypad.h>          // Se incluyen las librerías
#include <Password.h>

int relay = A2;           // Se les asigna un alias a los pines:
int buzzer = 11;          // En el pin A2 irá conectado el Relay y en el pin 11 un buzzer

int ledNoAcceso = 12; // En el pin 12 estará conectado un led rojo que indica que no
hay acceso
int ledAcceso = 13; // En el pin 13 estará conectado un led verde que indica que tiene
acceso

int noAcceso = 1; // Se asigna un alias al valor 1
int ingrepas = 0; // Se asigna un alias al valor 0

long flashvarled = 0;
long flashtimeled = 300;

const byte FILA = 4; // Se define el número de filas
const byte COLM = 4; // Se define el número de columnas

char keys[FILA][COLM] = { // Se define una matriz mostrando las teclas que posee el
{'1','2','3','A'},           // teclado que se vaya a usar
{'4','5','6','B'},
{'7','8','9','C'},
{'*','0','#','D'}};
```

```

byte filaPins[FILA] = {      // Definimos los pines del arduino en donde irán conectados
  9, 8, 7, 6};                // los pines del teclado
byte colPins[COLM] = {
  5, 4, 3, 2};

Keypad keypad = Keypad( makeKeymap(keys), filaPins, colPins, FILA, COLM );
Password password = Password("4321"); // Contraseña que deberá ser ingresada

void setup(){
  Serial.begin(9600);
  pinMode(relay, OUTPUT); // Define al pin donde está el relay como salida
  digitalWrite(relay, 255); // Envía una señal al pin del relay para que esté activado
                           // inicialmente
  pinMode(ledNoAcceso, OUTPUT); //Define al pin donde está el led rojo como salida
  digitalWrite(ledNoAcceso, 255); // Envía una señal al pin del led rojo para que este
                                 // encendido inicialmente
  pinMode(ledAcceso, OUTPUT); //Define al pin donde está el led verde como salida
  digitalWrite(ledAcceso, 0); // Define que el led verde esté apagado inicialmente
  pinMode(buzzer, OUTPUT); // Define el pin donde está el buzzer como salida
}

void loop(){
  char key = keypad.getKey();
  if(noAcceso){
    if(ingrepas){
      unsigned long currentvarled = millis();
      if(currentvarled - flashvarled > flashtimeled) {
        flashvarled = currentvarled;
        digitalWrite(ledNoAcceso, !digitalRead(ledNoAcceso));
      }
    }
  else{

```

```

digitalWrite(ledNoAcceso, 255); // Mientras no se ingrese la contraseña el led rojo
                                // estará parpadeando
}

digitalWrite(ledAcceso, 0);      // Mientras no se ingrese la contraseña el led verde
                                // estará apagado
}

if (key != NO_KEY){
    Serial.println(key);
    password.append(key);
    ingrepas = 1;
    digitalWrite(buzzer, HIGH);
    delay(100);
    digitalWrite(buzzer, LOW);
    if(key == '*'){
        password.reset();
        ingrepas = 0;
        noAcceso = 1;

        digitalWrite(relay, 1);

    }
    if(password.evaluate()) {
        noAcceso = !noAcceso; // Verifica si la contraseña ingresada es correcta
        password.reset();
        ingrepas = 0;
    }
    if(!noAcceso) {
        ingrepas = 0;

        digitalWrite(ledNoAcceso, 0); // Si se ingresa la contraseña correcta, el led rojo se
                                    // apaga
        digitalWrite(ledAcceso, 255); // Si se ingresa la contraseña correcta, el led verde

```

```
// se enciende
switch (key) {

    case 'C':
        digitalWrite(relay, !digitalRead(relay)); // Si presiono la tecla C, el relé conmuta
        break;

    }
    password.reset();
}
}
```

ANEXO B

Datasheet de llanta motorizada

EVFuture ELECTRIC VEHICLES

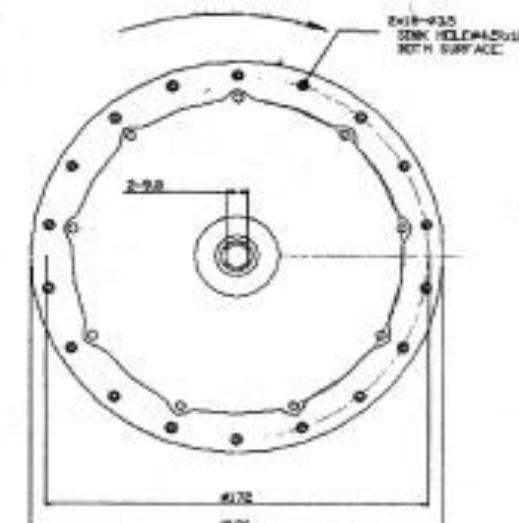
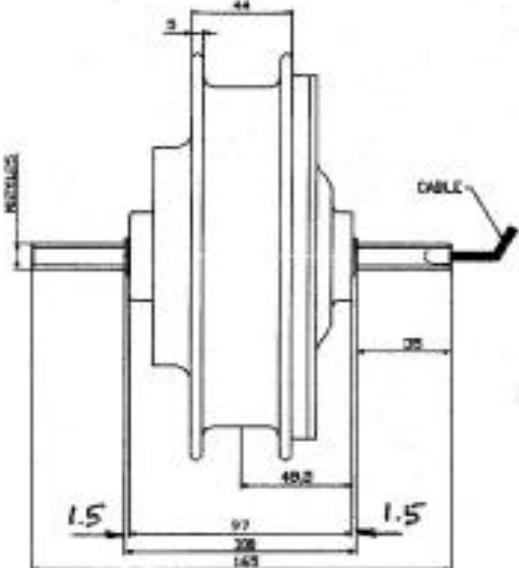


BLDC Hub Motor Datasheet

Type: BMC350

Specifications:

Voltage	24-36V	
Wattage	350W	
Dimensions	Diameter	186 mm
	Axle	
	Width	165 mm
RPM / V	10	
Weight	4.5 kg	
Connectors	3 phase wires, 5-pin hall	
Mounting	Front wheel	



ANEXO C

Datasheet de acelerador electrónico

EVFUTURE ELECTRIC VEHICLES					
BLDC Controller Datasheet Type: BMC350C Specifications: <table border="1"><tr><td>Voltage</td><td>24-36V</td></tr><tr><td>Current</td><td>25A</td></tr></table>	Voltage	24-36V	Current	25A	 
Voltage	24-36V				
Current	25A				
EVFuture Reve, Auroville 605101 Tamil Nadu, India Phone: +91 413 2622380 http://www.evfutu...					