



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO
MOTORIZADO CON ACOPLÉ CENTRAL PARA UNA SILLA DE
RUEDAS DE LA MISIÓN MANUELA ESPEJO PARA EL
DESPLAZAMIENTO AUTÓNOMO DE PERSONAS
PARAPLÉJICAS EN ZONAS URBANAS”**

TRABAJO DE TITULACIÓN:

Tipo: **Propuesta Tecnológica**

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES:

JUAN CARLOS COLES CHIMBO

CÉSAR ARMANDO GARCÍA SATAN

Riobamba – Ecuador

2020



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO
MOTORIZADO CON ACOPLÉ CENTRAL PARA UNA SILLA DE
RUEDAS DE LA MISIÓN MANUELA ESPEJO PARA EL
DESPLAZAMIENTO AUTÓNOMO DE PERSONAS
PARAPLÉJICAS EN ZONAS URBANAS”**

TRABAJO DE TITULACIÓN:

Tipo: **Propuesta Tecnológica**

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES: CÉSAR ARMANDO GARCÍA SATAN

JUAN CARLOS COLES CHIMBO

DIRECTOR: Ing. JAVIER JOSÉ GAVILANES CARRIÓN

Riobamba – Ecuador

2020

©2020, César Armando García Satan & Juan Carlos Coles Chimbo

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

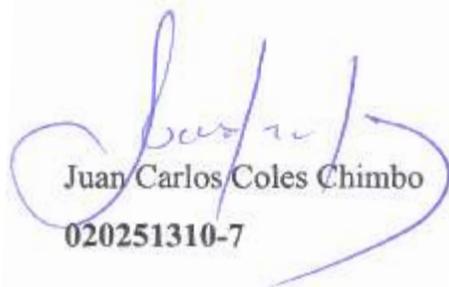
Nosotros, César Armando García Satan y Juan Carlos Coles Chimbo, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Riobamba, 30 de enero de 2020



César Armando García Satan
060492984-4



Juan Carlos Coles Chimbo
020251310-7

CERTIFICACIÓN DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Propuesta Tecnológica, **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA MOTORIZADO CON ACOPLE CENTRAL PARA UNA SILLA DE RUEDAS DE LA MISIÓN MANUELA ESPEJO PARA EL DESPLAZAMIENTO AUTÓNOMO DE PERSONAS PARAPLÉJICAS EN ZONAS URBANAS**, realizado por los señores : **CÉSAR ARMANDO GARCÍA SATAN** y **JUAN CARLOS COLES CHIMBO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. José Francisco Pérez Fiallos PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2020-01-30
Ing. Javier José Gavilanes Carrión DIRECTOR/A DEL TRABAJO DE TITULACION		2020-01-30
Ing. Rodrigo Rigoberto Moreno Pallares MIEMBRO DE TRIBUNAL		2020-01-30

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de titulación a mis padres, hermanos y todos los que me han apoyado.

Coles Chimbo Juan Carlos

Dedicado a mis padres y hermanos, Gracias por todo.

García Satan César Armando

AGRADECIMIENTO

Agradezco el presente trabajo de titulación a mis padres, hermanos y todos los que me han apoyado.

Coles Chimbo Juan Carlos

Agradezco a mi padre Julio y mi madre Inés que me apoyado incondicionalmente durante todos estos años, gracias por depositar su confianza en mí. A mis hermanos que han estado hay para apoyarme.

García Satan César Armando

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xvi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvii
RESUMEN.....	xviii
ABSTRACT.....	xix
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL.....	2
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Planteamiento del problema.....	2
1.3 Justificación.....	3
<i>1.3.1 Justificación teórica.....</i>	<i>3</i>
<i>1.3.2 Justificación metodológica.....</i>	<i>3</i>
<i>1.3.3 Justificación práctica.....</i>	<i>4</i>
1.4 Objetivos.....	4
<i>1.4.1 Objetivo general.....</i>	<i>4</i>
<i>1.4.2 Objetivos específicos.....</i>	<i>4</i>

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 Estado del arte.....	5
<i>2.1.1 Sistemas de propulsión acoplables a silla de ruedas.....</i>	<i>5</i>

2.1.1.1	<i>Accionado por el acompañante</i>	5
2.1.1.2	<i>Accionado por usuario</i>	5
2.2	Bases teóricas	7
2.2.1	<i>Transporte y movilidad urbana de usuarios de silla de ruedas.</i>	7
2.2.2	<i>Concepto de discapacidad física</i>	7
2.2.3	<i>Misión Manuela Espejo</i>	8
2.2.4	<i>Motor eléctrico</i>	8
2.2.4.1	<i>Motor Brushless</i>	8
2.2.5	<i>Batería</i>	8
2.2.5.1	<i>Batería de Litio</i>	9
2.2.6	<i>Controlador</i>	9
2.3	Marco legal	9
2.3.1.1	<i>Reglamento a la ley de transporte y tránsito y seguridad vial</i>	9

CAPITULO III

3.	Diseño y construcción	10
3.1	Parámetros de diseño	10
3.1.1	<i>Identificación de los requisitos del usuario</i>	10
3.1.1.1	<i>Costo del producto</i>	10
3.1.1.2	<i>Acoplamiento universal</i>	10
3.1.1.3	<i>Mantenimiento y reparación sencilla</i>	11
3.1.1.4	<i>Autonomía</i>	11
3.1.2	<i>Silla de ruedas</i>	11
3.1.3	<i>Funciones del prototipo</i>	11
3.1.4	<i>Requisitos de diseño</i>	12
3.1.5	<i>Criterios de evaluación</i>	12
3.2	Módulo de Sujeción	12
3.2.1	<i>Estudio previo</i>	12

3.2.1.1	<i>BatecMobility</i>	13
3.2.1.2	<i>Omnia</i>	13
3.2.1.3	<i>H1-12</i>	14
3.2.1.4	<i>Firefly Electric</i>	14
3.2.1.5	<i>Triride</i>	15
3.2.2	Requisitos	16
3.2.2.1	<i>Mecanismo Universal</i>	16
3.2.2.2	<i>Ergonomía</i>	16
3.2.2.3	<i>Manufactura sencilla</i>	16
3.2.2.4	<i>Economizarían de materiales</i>	16
3.2.3	Desarrollo	16
3.2.3.1	<i>Estudio estructural</i>	16
3.2.4	Diseño	18
3.2.4.1	<i>Base de sujeción</i>	18
3.2.4.2	<i>Acople central</i>	18
3.3	Modulo Eléctrico	19
3.3.1	Requisitos del sistema	19
3.3.1.1	<i>Impermeabilidad</i>	19
3.3.1.2	<i>Autonomía</i>	19
3.3.1.3	<i>Peso Reducido</i>	19
3.3.1.4	<i>Potencia</i>	20
3.3.1.5	<i>Voltaje</i>	20
3.3.1.6	<i>Aceleración y desaceleración</i>	20
3.3.2	Descripción de funcionamiento del sistema eléctrico	20
3.3.3	Componentes del sistema electico	21
3.3.4	Motor	21
3.3.4.1	<i>Calculo de la Fuerza de resistencia a la rodadura (F_{rr})</i>	23
3.3.4.2	<i>Resistencia aerodinámica(F_{ad})</i>	24
3.3.4.3	<i>Resistencia de pendiente (F_{hc})</i>	25

3.3.4.4	<i>Calculo fuerza de aceleración (Fla)</i>	25
3.3.4.5	<i>Calculo de fuerza de tracción eléctrica total (Fte)</i>	25
3.3.4.6	<i>Calculo de Torque requerido (Tn)</i>	26
3.3.4.7	<i>Calculo de la velocidad angular(ω)</i>	26
3.3.4.8	<i>Calculo de potencia teórica PT</i>	27
3.3.4.9	<i>Calculo de potencia real PR</i>	27
3.3.4.10	<i>Selección de motor eléctrico Brushless</i>	28
3.3.4.11	<i>Especificaciones técnicas del motor eléctrico Brushless</i>	28
3.3.5	<i>Batería</i>	28
3.3.5.1	<i>Calculo de la Capacidad especifica de la batería (A)</i>	29
3.3.5.2	<i>Calculo de la Energía</i>	29
3.3.5.3	<i>Selección de batería</i>	30
3.3.5.4	<i>Calculo del tiempo de carga</i>	30
3.3.5.5	<i>Autonomía teórica de la batería</i>	31
3.3.6	<i>Selección de controlador</i>	32
3.3.6.1	<i>Descripción de controlador</i>	32
3.4	<i>Modulo mecánico</i>	33
3.4.1	<i>Descripción de Modulo mecánico</i>	33
3.4.2	<i>Dispositivo de sujeción</i>	34
3.4.2.1	<i>Requisitos del Dispositivo de sujeción</i>	34
3.4.2.2	<i>Diseño del Dispositivo de sujeción</i>	35
3.4.3	<i>Aro</i>	35
3.4.3.1	<i>Requisitos de la aro</i>	35
3.4.3.2	<i>Selección y justificación de la Aro</i>	36
3.4.4	<i>Neumático</i>	36
3.4.4.1	<i>Requisitos de la Neumático</i>	36
3.4.4.2	<i>Selección y justificación del Neumático.</i>	36
3.4.5	<i>Radios</i>	37
3.4.5.1	<i>Requisitos de los Radios</i>	37

3.4.5.2	<i>Selección y justificación de los Radios</i>	37
3.4.6	<i>Disco</i>	38
3.4.6.1	<i>Requisitos del Disco</i>	38
3.4.6.2	<i>Selección y justificación del Disco</i>	38
3.4.7	<i>Mordazas</i>	38
3.4.7.1	<i>Requisitos de las Mordazas</i>	38
3.4.7.2	<i>Selección y justificación de las mordazas</i>	38
3.4.8	<i>Manubrio</i>	39
3.4.8.1	<i>Requisitos del manubrio</i>	39
3.4.8.2	<i>Selección y justificación del manubrio</i>	39
3.4.9	<i>Espiga de dirección</i>	39
3.4.9.1	<i>Requisitos dela Espiga de dirección</i>	39
3.4.9.2	<i>Selección y justificación dela Espiga de dirección</i>	40
3.4.10	<i>Pistas de dirección</i>	40
3.4.10.1	<i>Requisitos delas Pistas de dirección</i>	40
3.4.10.2	<i>Selección y justificación delas Pistas de dirección</i>	40
3.5	<i>Modulo estructural</i>	41
3.5.1	<i>Requisitos del módulo estructural</i>	41
3.5.2	<i>Diseño del módulo estructural</i>	41
3.5.3	<i>Estructura Superior</i>	42
3.5.3.1	<i>Requisitos de la Estructura Superior</i>	42
3.5.3.2	<i>Diseño de la Estructura Superior</i>	42
3.5.4	<i>Estructura Inferior</i>	43
3.5.4.1	<i>Requisitos de la Estructura Inferior</i>	43
3.5.4.2	<i>Diseño de la Estructura Inferior</i>	43
3.6	<i>Análisis de carga del prototipo</i>	44
3.6.1	<i>Análisis de estructura inferior</i>	44
3.6.2	<i>Análisis de estructura superior</i>	46
3.6.3	<i>Análisis del acople central</i>	47

3.6.4	<i>Análisis del soporte de sujeción</i>	48
3.7	Construcción del prototipo de propulsión	49
3.7.1	<i>Construcción módulo de sujeción</i>	49
3.7.1.1	<i>Base de sujeción</i>	49
3.7.1.2	<i>Barras de sujeción</i>	50
3.7.1.3	<i>Soporte de sujeción</i>	51
3.7.1.4	<i>Acople central</i>	51
3.7.2	<i>Construcción módulo estructurar</i>	52
3.7.2.1	<i>Construcción de la estructura superior</i>	52
3.7.2.2	<i>Construcción de la estructura inferior</i>	53
3.7.3	<i>Construcción módulo mecánico</i>	54
3.7.3.1	<i>Dispositivo de sujeción</i>	54
3.7.3.2	<i>Implementación del motor eléctrico</i>	55
3.7.3.3	<i>Implementación del sistema de freno</i>	55
3.7.4	<i>Pintado del sistema</i>	55
3.7.5	<i>Acoplamiento del sistema propulsor</i>	56
3.7.5.1	<i>Acoplamiento de la estructura superior con la estructura inferior.</i>	56
3.7.5.2	<i>Instalación de la dirección</i>	56
3.7.5.3	<i>Acoplamiento del acople central y estructura principal.</i>	57
3.7.6	<i>Instalación del módulo eléctrico</i>	57
3.7.6.1	<i>Instalación de controlador</i>	57
3.7.6.2	<i>Instalación dispositivos de control</i>	58
3.7.6.3	<i>Instalación de la batería</i>	58
3.7.7	<i>Acoplamiento de la base de sujeción a la silla de ruedas</i>	58
3.7.7.1	<i>Instalación de la base de sujeción</i>	58
3.7.8	<i>Acoplamiento del prototipo a la silla de ruedas</i>	60
3.7.8.1	<i>Acoplamiento del acople central con la base de sujeción</i>	60
3.7.8.2	<i>Levantamiento de las ruedas delanteras</i>	60
3.8	Pruebas de funcionamiento	61

3.8.1	<i>Autonomía de batería</i>	61
3.8.2	<i>Velocidad y aceleración</i>	62
3.8.3	<i>Costo de operación</i>	63

CAPITULO IV

4.	Gestión del proyecto	66
4.1	Cronograma	66
4.2	Presupuesto	66
4.2.1	<i>Materiales</i>	66
4.2.2	<i>Mano de obra</i>	68
4.2.3	<i>Equipos</i>	68
4.2.4	<i>Costos indirectos</i>	68
4.2.5	<i>Costo total del proyecto</i>	69

CONCLUSIONES	70
---------------------------	-----------

RECOMENDACIONES	71
------------------------------	-----------

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1-3: Productos similares.....	15
Tabla 2-3: Aproximación entre grados de pendiente y porcentaje.....	22
Tabla 3-3: Peso del prototipo.	23
Tabla 4-3: Especificaciones del motor eléctrico.	28
Tabla 5-3: Especificaciones de la batería.....	30
Tabla 6-3: Especificaciones del controlador.	32
Tabla 7-3: Salidas del controlador.	33
Tabla 8-3: Componentes del módulo mecánico.....	34
Tabla 9-3: Componentes del módulo estructural.	41
Tabla 10-3: Prueba de velocidad y aceleración.....	63
Tabla 11-3: Pliego tarifario 2019 Ecuador.....	64
Tabla 1-4: Costos de materiales.	67
Tabla 2-4: Costos de mano de obra.....	68
Tabla 3-4: Costos de alquiler de equipos.....	68
Tabla 4-4: Costos indirectos.	68
Tabla 5-4: Costo total del proyecto.....	69

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1-2. Power Glide.....	5
Figura 2-2. Sistema U-Drive.....	6
Figura 3-2. Sistema Alber e-fix.....	6
Figura 4-2. HandbikeBatec.....	6
Figura 5-2. Movilidad urbana de usuarios de.....	7
Figura 6-2. Motor Brushless.....	8
Figura 1-3. Silla de ruedas manual.....	11
Figura 2-3. HandbikeBatec Eléctrico.....	13
Figura 3-3. Base de HandbikeBatec.....	13
Figura 4-3. Handbike OMNIA.....	14
Figura 5-3. Handbike H1-12.....	14
Figura 6-3. HandbikeFirefly.....	15
Figura 7-3. Handbike Triride.....	15
Figura 8-3. Puntos comunes de anclaje.....	17
Figura 9-3. Puntos comunes posibles de anclaje.....	17
Figura 10-3. Trayecto urbano.....	21
Figura 11-3. Mayor pendiente en la ruta.....	22
Figura 12-3. Función de cables de controlador.....	33
Figura 13-3. Aro rin 20.....	36
Figura 14-3. Neumático rin 20.....	37
Figura 15-3. Radios 170mm.....	37
Figura 16-3. Disco de freno.....	38
Figura 17-3. Mordazas Luxe F160/R.....	39
Figura 18-3. Manubrio de dos alturas.....	39
Figura 19-3. Espiga de dirección GT.....	40
Figura 20-3. Pista de dirección.....	40
Figura 21-3. Soldadura de la base de sujeción.....	49
Figura 22-3. Soldadura de tuercas en la base de sujeción.....	50
Figura 23-3. Barras de sujeción.....	50
Figura 24-3. Soldadura soporte de sujeción.....	51
Figura 25-3. Soldadura de acople central.....	51

Figura 26-3.	Soldadura de la base del acople central.....	52
Figura 27-3.	Soldadura la base al acople central.....	52
Figura 28-3.	Centrado de bases de la estructura superior.	52
Figura 29-3	Soldadura de pernos para la base de la batería.	53
Figura 30-3.	Aumento de horquilla de dirección.	53
Figura 31-3.	Corte de bases de motor.	53
Figura 32-3.	Soldadura de base de motor.	54
Figura 33-3.	Torneado y soldadura de perno para dispositivo de sujeción.....	54
Figura 34-3.	Soldadura de dispositivo de sujeción.	54
Figura 35-3.	Acople del motor eléctrico con aro.	55
Figura 36-3.	Implementación del sistema de freno.....	55
Figura 37-3.	Pintado del prototipo.	56
Figura 38-3.	Instalación de la espiga de dirección.....	56
Figura 39-3.	Instalación de manubrio.	57
Figura 40-3.	Unión de acople central y estructura superior.....	57
Figura 41-3.	Instalación de controlador.	57
Figura 42-3.	Instalación de dispositivos de controlador.	58
Figura 43-3.	Instalación de la base y la batería.	58
Figura 44-3.	Instalación de soportes de sujeción.	59
Figura 45-3.	Instalación las barras de sujeción.....	59
Figura 46-3.	Instalación de base de sujeción.	59
Figura 47-3.	Instalación de base de sujeción.	60
Figura 48-3.	Levantamiento de ruedas delanteras.....	60
Figura 49-3.	Prototipo en funcionamiento.	61
Figura 50-3.	Trayecto para prueba.	61
Figura 51-3.	Pendiente del trayecto de prueba.....	62

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 1-3. Base de sujeción.	18
Gráfico 2-3. Acople central.	19
Gráfico 3-3. Sistema eléctrico.	20
Gráfico 4-3. Pendiente del recorrido.	21
Gráfico 5-3. Pendiente del recorrido.	22
Gráfico 6-3. Sesión frontal del prototipo.	24
Gráfico 7-3. Módulo Mecánico.	34
Gráfico 8-3. Dispositivo de sujeción.	35
Gráfico 9-3. Funcionamiento del dispositivo de sujeción.	35
Gráfico 10-3. Modulo estructural.	41
Gráfico 11-3. Estructura superior.	42
Gráfico 12-3. Unión base superior y acople central.	43
Gráfico 13-3. Estructura inferior.	44
Gráfico 14-3. Alojamiento de componentes.	44
Gráfico 15-3. Deformación total de la estructura inferior.	45
Gráfico 16-3. Tensión equivalente (Von Mises) Estructura inferior.	45
Gráfico 17-3. Deformación total de la estructura superior.	46
Gráfico 18-3. Tensión equivalente (Von Mises) Estructura superior.	47
Gráfico 19-3. Deformación total del acople central.	47
Gráfico 20-3. Tensión equivalente (Von Mises) Acople central.	48
Gráfico 21-3. Deformación total del soporte de sujeción.	48
Gráfico 22-3. Tensión equivalente (Von Mises) Soporte de sujeción.	49
Gráfico 1-4. Cronograma del proyecto.	66

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A Catálogo DIPAC de tubos estructurales cuadrados

Anexo B Catálogo DIPAC de tubos estructurales redondos

Anexo C Catálogo DIPAC de Plancha laminada en caliente

Anexo D Planos

RESUMEN

El presente trabajo se realizó con el fin de presentar una alternativa e movilidad urbana para usuarios de silla de ruedas se diseñó y construyó un prototipo motorizado con acople central para una silla de ruedas, en respuesta al problema de movilidad y que en el mercado nacional no existe este tipo de productos e importarlos tiene un costo muy elevado, y de esta manera mejorar la autonomía de movilidad de los usuarios de silla de ruedas. Para lo cual, se identificó los requisitos de los usuarios, entre los requisitos principales se encuentra el modelo de la silla de ruedas, por lo que se partió utilizando la silla de ruedas de la Misión Manuela Espejo, por ser un modelo estándar y similar a otros comercializados en el mercado, partiendo de los parámetros requeridos se diseñó un prototipo de fácil acople, con un motor eléctrico brushless con sus respectivo módulo eléctrico, sujeción, mecánico y estructural, instalado en la estructura inferior de la silla de ruedas. El material escogido con el que fue construido el prototipo es el acero estructural ASTM A36. Mediante un software CAD se conceptualizó un diseño preliminar de la estructura del prototipo al cual se realizó distintas modificaciones hasta obtener un diseño satisfactorio, posteriormente con ayuda de un software CAE se validó el diseño exponiendo a prototipo a parámetros reales de funcionamiento para garantizar la fiabilidad del mismo, se construyó mediante procesos de manufactura comúnmente usados a nivel nacional tales como la soldadura SMAW para la unión de los distintos componentes. Se realizó siete pruebas distintas para probar el funcionamiento del prototipo, los componentes del prototipo no se vieron comprometidos, tampoco fallaron en su funcionamiento y en ninguna de las pruebas se presentó ninguna anomalía, por otro parte el usuario mostro conformidad con el prototipo. Se puede concluir que el prototipo puede ser implementado en distintos modelos de silla de ruedas, este prototipo puede ser utilizado por usuarios con movilidad en sus extremidades superiores. Para que el presente trabajo tenga mayor alcance se recomienda la utilización de materiales más ligeros para reducir el consumo energético del prototipo, así como considerar el diseño y construcción de soportes para silla de ruedas con barras inclinadas.

PALABRAS CLAVE:<TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <MOVILIDAD>, <ACOPLE CENTRAL>, <MOTOR BRUSHLESS >, <AUTONOMÍA>, <SILLA DE RUEDAS>, <DISCAPACIDAD>.



ABSTRACT

The present work was carried out to present an alternative and urban mobility for wheelchair users. A motorized prototype with a central coupling for a wheelchair was designed and built, in response to the mobility problem and which in the national market there are not these products and importing them has a very high cost, and in this way improve the mobility autonomy of wheelchair users. For which, the requirements of the users were identified, among the main requirements is the wheelchair model, So wheelchair of Manuela Espejo Mission was used, for being a standard model and similar to others marketed in the market, based on the required parameters, an easy-to-fit prototype was designed, with a brushless electric motor with its respective electric, fastening, mechanical and structural model, installing on the lower structure of the wheelchair. With the chosen material, the ASTM A36 structural steel prototype was built. Through a CAD software, a preliminary design of the prototype structure was conceptualized, to which different modifications were made until a satisfactory design was obtained, then with the help of a CAE software the design was validated by exposing the prototype to real parameters of operating to guarantee the reliability. It was also built through manufacturing processes commonly used nationwide such as SMAW welding for the union of the different components. Seven different tests were carried out to test the operation of the prototype, the components of the prototype were not compromised either failed in its operation and any of the tests there was no anomaly, on the other hand, the user showed conformity with the prototype. It can be concluded that the prototype can be implemented in different wheelchair models, this prototype can be used by users with mobility in their upper extremities. For this work to have greater scope, the use of lighter materials is recommended to reduce the prototype's energy consumption, as well as consider the design and construction of wheelchair support with inclined bars.

KEYWORDS: <ENGINEERING TECHNOLOGY AND SCIENCES>, <MOBILITY>, <CENTRAL COUPLING>, <MOTORBRUSHLESS>, <AUTONOMY>, <WHEELCHAIR>, <DISABILITY>.



INTRODUCCIÓN

Para una persona con discapacidad en sus extremidades inferiores el mayor problema que afronta en el Ecuador es la movilidad urbana, por la dificultad de no poder acceder al transporte público esto debido a que en el Ecuador pocas son las ciudades que cuenten con unidades especiales que se adecuan a usuarios de silla de ruedas y el transporte privado eleva su costo de movilización; por lo cual sus derechos de integración social y laboral han sido vulnerados.

Las personas que usan silla de ruedas son dependientes de terceros para su desplazamiento al igual que para acceder a las unidades de transporte ya que las mismas no son inclusivas y carecen de dispositivos especiales como rampas, muchas unidades de transporte carecen incluso de espacios para transportar a usuarios de silla de ruedas, por lo cual la implementación de un dispositivo adaptado a las necesidades de desplazamiento del usuario lo cual permite mayor autonomía e independencia.

Con el objetivo de garantizar la inclusión de las personas con discapacidad, en la vicepresidencia de Lenin Moreno en el año 2009 fundó la Misión Manuela Espejo que a lo largo de su existencia ha entregado ayudas técnicas donde se encuentra la silla de ruedas mejorando su calidad de vida.

El diseño y construcción de un dispositivo de anclaje central para una silla de ruedas para el desplazamiento autónomo será una alternativa de solución de movilidad destinado a entornos urbanos permitiendo la integración social, laboral y desarrollo personal; para el desarrollo del presente proyecto se emplea conocimientos científicos por medio de investigación bibliográfica y una investigación a nivel exploratoria para el sustento en busca de una solución factible.

Mediante el presente trabajo de titulación como propuesta tecnológica que aporte en la investigación y desarrollo de dispositivos eléctricos inclusivos que se adapten a las necesidades de los usuarios de silla de ruedas y sea amigable con el medio ambiente.

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL

1.1 Antecedentes

Según datos del Consejo Nacional para la Igualdad de discapacidades (CONADIS, 2019) en el Ecuador Existe actualmente 214 862 con discapacidad física teniendo 3 017 personas con discapacidad física en la ciudad de Riobamba. En la Constitución de la República del Ecuador se promueve la integración social de las personas con capacidades diferentes eliminando barreras físicas, psicológicas, sociales y comunicacionales. La LEY ORGÁNICA DE DISCAPACIDADES establece la necesidad la importación o fabricación de “Vehículos no ortopédicos: automáticos o mecánicos, cuando éstos puedan ser conducidos por personas con discapacidad”.(Asamblea Nacional de Ecuador, 2017)

La misión Manuela Espejo nace por la iniciativa del entonces vicepresidente Lenin Moreno en el año 2009 por la necesidad de atender a grupos vulnerables del Ecuador, desde aquella iniciativa se ha entregado 216 285 ayudas técnicas a nivel nacional entre las cuales se encuentran las sillas de ruedas.(Vicepresidencia de la República del Ecuador, 2012)

Sin embargo, en el mercado no existe medios de transporte autónomo para personas con movilidad reducida, por lo cual los se ven en la necesidad de importarlos a elevados costos por lo cual no es frecuente el uso de estos dispositivos en el país.

En el presente trabajo de titulación se busca diseñar y construir un sistema eléctrico de acople central que permita a los usuarios de silla de ruedas acoplar y desacoplar fácilmente el sistema a la silla de ruedas para un desplazamiento autónomo, de tal forma que el sistema sea desmontable para facilitar su uso y transporte, a diferencia de otros sistemas fijos. Igualmente, al ser un sistema desmontable se reducirá el peso y costo de fabricación, sin afectar la integridad del usuario de silla de ruedas.

1.2 Planteamiento del problema

Entre los tipos de discapacidad más comunes en el Ecuador se encuentra la discapacidad física por lo cual al individuo se ve privado de desplazarse por entorno urbano, la mayoría de personas con discapacidad utilizan la silla de ruedas dependiendo de terceros para su desplazamiento, el

principal inconveniente que tienen que afrontar en el día a día los usuarios de silla de ruedas es la carencia de transporte público inclusivo por lo que el individuo se ve en la necesidad de utilizar transporte privado elevando su costo de vida.

1.3 Justificación

1.3.1 Justificación teórica

Mediante el presente trabajo de titulación implicara el uso de conceptos ingenieriles relacionados al área de la ingeniería automotriz para garantizar un resultado de calidad, que, junto a la implementación de software de diseño y simulación para la conceptualización del diseño y verificación del mismo, así como su posterior construcción mediante la aplicación de procesos de manufactura.

Con este trabajo de titulación se pretende sentar las bases teoricas para la realización de futuras investigaciones sobre el mismo, ya que el diseño permite que se adapte a diferentes modelos de silla de ruedas, y no solo se limite al modelo de silla de ruedas usada para este proyecto.

1.3.2 Justificación metodológica

El presente trabajo de titulación está orientado a la aplicación de conocimientos científicos para sustentar en base a datos la propuesta de solución a un problema de falta de inclusión en movilidad de usuarios de silla de ruedas, en este caso mediante el diseño y construcción de un sistema eléctrico de anclaje central para una silla de ruedas.

Con el sistema eléctrico de anclaje central se pretende generar resultados que disminuya considerablemente el problema anteriormente mencionado, para lo cual se procederá con una investigación de tipo bibliográfica que permita generar un marco teórico para sustentar el presente trabajo; conjuntamente con una investigación de campo a nivel exploratorio con el objetivo de analizar y evaluar elementos de interés.

El desarrollo parte por la recolección de datos para identificar los requerimientos y necesidades de desplazamiento de los usuarios de silla de ruedas para posteriormente la obtención de un modelo en un software CAD que posteriormente se verificara mediante software CAE, mediante los cuales se seleccionaran los materiales y procesos de manufactura para la construcción de sistema, garantizando la fiabilidad y optimo desempeño del mismo.

1.3.3 Justificación práctica

El presente trabajo de titulación se desarrolla debido a la falta de transporte inclusivo en el entorno urbano que facilite la movilidad autónoma de usuarios de silla de ruedas, por lo que se ha visto la necesidad de diseñar y construir un sistema eléctrico de acople central para una silla estándar para el desplazamiento urbano que facilite la independencia de los usuarios de la silla de ruedas, así como la autonomía en el entorno diario.

Utilizando el sistema anteriormente descrito elimina los esfuerzos en los brazos que un usuario de silla de ruedas que produce fatiga o la necesidad de ser impulsados por los terceros. Por otra parte, este trabajo de titulación pretende plantar bases para la futura investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías inclusivas para el transporte autónomo y ecológico, al no existir un producto similar en el mercado, puede servir como punto de inicio de emprendimiento.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

- Diseñar y construir un prototipo motorizado con acople central para una silla de ruedas de la misión manual espejo para el desplazamiento autónomo de personas paraplégicas en zonas urbanas.

1.4.2 Objetivos específicos

- Investigar los fundamentos teóricos sobre anclaje, propulsión y manipulación de sistemas de propulsión a través de la investigación bibliográfica para el diseño del sistema motorizado.
- Diseñar el prototipo de acople central del motor eléctrico mediante un software CAD tomando en cuenta la disminución del proceso de manufactura para reducir costos de producción.
- Simular el prototipo de acople central del motor eléctrico mediante un software CAE para validar el funcionamiento en un entorno controlado con parámetros a las que estará expuesto el prototipo.
- Construir el sistema motorizado mediante la selección de materiales fiables y de fácil adquisición en el mercado nacional para que la producción pueda ser sostenible.
- Realizar pruebas de campo del sistema motorizado con usuarios paraplégicos bajo parámetros previamente establecidos para medir la aceptación de los usuarios.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Estado del arte

2.1.1 *Sistemas de propulsión acoplables a silla de ruedas*

Existen diversos sistemas de propulsión que pueden ser acoplados en la silla de ruedas manuales en el mercado internacional. Entonces se clasificará según quien acciona el dispositivo que puede ser accionada por el usuario o un tercero. (Morales, 2015)

2.1.1.1 *Accionado por el acompañante*

Es uno de los dispositivos más económicos, está conformado por un motor de una o dos ruedas en la parte inferior de la silla de ruedas y se puede activar únicamente por el acompañante mediante una palanca ubicada en la agarradera de la silla de ruedas. (Morales, 2015)



Figura 1-2. Power Glide.

Realizado por: (El Diario.ec, 2017).

2.1.1.2 *Accionado por usuario*

El sistema del control eléctrico consta de un motor eléctrico controlado por un Joystick instalado en la parte delantera que puede ser controlado por el usuario, ejemplo U-Drive. (Mundo Dependencia, 2018)



Figura 2-1. Sistema U-Drive.

Realizado por: (Mundo Dependencia, 2017).

Otra variación del sistema es la motorización de HUB en las ruedas traseras, este sistema tiene como ventaja que es ligero, y como desventaja su elevado costoso, ejemplo Alber e-fix. (ADAPTADO, 2015)



Figura 3-2. Sistema Alber e-fix.

Realizado por: (Adaptado.es, 2015).

Este sistema de propulsión es el más parecido a el prototipo planteado en este trabajo de titulación, usa un anclaje lateral directo a la silla de ruedas o central a una base instalada en la silla, la mayoría consta de una rueda delantera de un diámetro grande que incorpora un motor eléctrico, ejemplo Batec. (BATEC, 2018)



Figura 4-2. HandbikeBatec.

Realizado por: (LiveinSpinal, 2015).

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Transporte y movilidad urbana de usuarios de silla de ruedas.

“Los sordos, ciegos y personas con discapacidad física deben enfrentarse todos los días a espacios hostiles que no consideran sus limitaciones: transporte sin áreas para silla de ruedas, edificación públicos sin rampas, veredas angostas, parques sin accesos. Se puede considerar que ninguna ciudad del Ecuador es inclusiva para esta minoría”. (Ponce, 2018)

Una de las principales deudas de la sociedad con las personas con discapacidad es el transporte público, el transporte público no es amigable con los usuarios de silla de ruedas; las unidades de transporte no poseen rampas ni espacios destinados para ellos dentro de las unidades, en ciudades con unidades articuladas poseen accesos a medias. Inclusive si se logra acceder al transporte público es muy difícil bajar debido a que en las paradas no existen infraestructura que permita su descenso, el camino está incompleto o mal construido. (Ponce, 2018)



Figura 5-2. Movilidad urbana de usuarios de silla de ruedas.

Realizado por: (El Diario.ec, 2017).

2.2.2 Concepto de discapacidad física

Se entiende por discapacidad física aquel estado o situación en la que se genera una circunstancia que limita o dificulta en menor o mayor medida que la persona que padece de la misma pueda moverse de forma autónoma y funcional. Este tipo de discapacidad afecta directamente al aparato locomotor, siendo notorio en el caso de las extremidades superiores e inferiores que bien puede afectar a la musculatura esquelética de tal manera que no pueda moverse de manera voluntaria. (Castillero, 2017)

2.2.3 Misión Manuela Espejo

La misión Manuela Espejo es un programa que se fundó en el año 2009 e iniciado por la secretaria técnica de discapacidades (SETEDIS), el mismo nace para atender las necesidades de personas con discapacidad o enfermedades catastróficas en situación de vulnerabilidad, se divide en seis puntos importantes. (CELAC, 2012)

2.2.4 Motor eléctrico

Se puede definir como como una máquina que transforma la energía eléctrica en energía mecánica, el motor de inducción es el más comúnmente más usado, esto debido a que combina las ventajas de usar energía eléctrica de bajo costo, facilidad de transportar, amigable con el medio ambiente, de una construcción simple y gran versatilidad. (WEG, 2015)

2.2.4.1 Motor Brushless

Este motor es más moderno, usa una tarjeta electrónica para el control de su funcionamiento y regulación; Tampoco tiene piezas de contacto mecánico y son más eficientes. (Eléctricos, 2013)



Figura 6-2. Motor Brushless.

Realizado por: (Circula Verde, 2016).

2.2.5 Batería

También conocidas como acumuladores, son dispositivos que mediante el uso de procesos electroquímicos permite almacenar energía y después devolverla para ser usada, la batería está considerada como un generador eléctrico secundario, esto debido a que no funciona sin que previamente se le ha dado energía en el proceso de carga. (ALEGSA, 2018)

2.2.5.1 Batería de Litio

Este tipo de baterías supera con creces a las dos anteriormente mencionadas, debido a su tamaño y peso reducido, es más ecológica y carece del efecto memoria, entre las desventajas esta su mayor costo y una menor vida útil según su tipo. (Valvermont, 2015)

2.2.6 Controlador

El controlador es una de las partes fundamentales de un motor Brushless ya que actúan como un cerebro para estos, en la actualidad debido al desarrollo tecnológico se ha reducido el tamaño y peso, así como se ha aumentado su eficiencia. (Bikelec, 2015)

2.3 Marco legal

2.3.1.1 Reglamento a la ley de transporte y tránsito y seguridad vial

“Art. 265.-Los peatones y las personas con movilidad reducida que transitan en artefactos especiales manejados por ellos mismos o por terceros como: andadores, silla de ruedas, sillas motorizadas y otros, tendrán derecho a:”. (ANT, 2012, p.52)

1. “Hacer uso de la calzada en forma excepcional en el caso de que un obstáculo se encuentre bloqueando la acera. En tal caso, debe tomar las precauciones respectivas para salvaguardar su integridad física y la de terceros;”. (ANT, 2012, p.52)
2. “Tener derecho de paso respecto a los vehículos que cruzan la acera para ingresar o salir de áreas de estacionamiento;”. (ANT, 2012, p.52)
3. “Continuar con el cruce de vía una vez que este se haya iniciado, siempre y cuando haya tenido preferencia de cruce, aun cuando la luz verde del semáforo haya cambiado.”. (ANT, 2012, p.52)
4. “Tener derecho de paso en los casos en que tanto el peatón como el automotor tengan derecho de vía en una intersección, cuando el automotor vaya a girar hacia la derecha o izquierda; y,”. (ANT, 2012, p.52)
5. “Contar con la ayuda necesaria por parte de personas responsables y en especial de los agentes de tránsito, al momento de cruzar las vías públicas, en el caso de que los peatones sean niños o niñas menores de diez años de edad, adultos mayores de 65 años de edad, invidentes, personas con movilidad reducida u otras personas con discapacidad.”. (ANT, 2012, p.52)

CAPITULO III

3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

3.1 Parámetros de diseño

Para iniciar un la conceptualización del diseño, se tomara en cuenta pasos específicos para poder obtener un producto que logre satisfacer las necesidades del usuario, también debe ofrecer seguridad, eficiencia, confiabilidad, económico y de un proceso de manufactura práctica, para que el prototipo cumpla las expectativas, se tomara en cuenta los siguientes parámetros:

- Identificación de los requisitos del usuario
- Funciones del prototipo
- Requisitos del diseño
- Criterios de evaluación

3.1.1 *Identificación de los requisitos del usuario*

Mediante la extracción de información de las entrevistas se extraen los requerimientos, teniendo entre los principales los siguientes:

3.1.1.1 *Costo del producto*

Al ser un producto que no se encuentra en el mercado nacional, importar un producto similar implica un elevado costo para adquirirlo y usuarios que estarían interesados tienen dificultad o imposibilidad para comprarlo, se pretende construir un prototipo funcional con materiales, partes y elementos que se puedan encontrar en el mercado nacional.

3.1.1.2 *Acoplamiento universal*

El prototipo parte para el acoplamiento de una silla estándar de la misión Manuela espejo, sin embargo, no se limitará este modelo debido a que el acoplamiento que construye se adapta a cualquier modelo de silla de ruedas independiente del tamaño, teniendo como única limitación algunos modelos de silla deportiva debido a que su estructura impide la instalación del acople.

3.1.1.3 Mantenimiento y reparación sencilla

Se plantea conseguir que el usuario realice el mantenimiento al prototipo, y las reparaciones puedan llevarse a cabo por técnicos no especializados en este tipo de productos.

3.1.1.4 Autonomía

La autonomía es fundamental debido a que los usuarios deben desplazarse en entornos urbano en distancias considerables.

3.1.2 Silla de ruedas

Las sillas de ruedas están dentro de las denominadas ayudas técnicas, esto quiere decir, que es un dispositivo físico de aplicación que facilita o permite llevar a cabo actividades del aparato locomotor mermadas por diferentes causas de tipo parcial o total. (Gorgues, 2005)

Existen diferentes modelos altamente adaptables en función de diferentes criterios: tamaño y posición de asiento y respaldo, apoyo brazos, apoyo de pies regulables y extraíble; Las sillas de ruedas está recogido en la norma ISO 9999:2007. (Ribera Salud Grupo, 2018)



Figura 1-3. Silla de ruedas manual.

Realizado por: (Offarm, 2005).

3.1.3 Funciones del prototipo

Se determinó las funciones que debe cumplir el dispositivo, resumiendo en un conjunto de aviones secuenciales que debe realizarse para cumplir con su trabajo, el prototipo debe acoplarse a la base instalada previamente al chasis de la silla de ruedas, sujetar el prototipo, elevar las ruedas delanteras, anclar la parte móvil, desplazar la silla de ruedas y viceversa.

3.1.4 *Requisitos de diseño*

Al realizar la observación e investigación de usuarios que requieren el prototipo, se ha determinado los siguientes requisitos.

1. El prototipo debe tener una autonomía de 20 km.
2. Que el prototipo sea capaz de desplazar fácilmente a un usuario de silla de ruedas de un peso máximo 100kg.
3. Se requiere que el prototipo sea ligero y de fácil manipulación por el usuario.
4. El prototipo tiene que ser desmontable y ajustable a distintos tamaños de silla de ruedas.
5. La energía usada debe ser de fácil accesibilidad.
6. El despegue de las ruedas delanteras debe superior a los 5 cm
7. Que el mantenimiento y reparación sea fácil.

3.1.5 *Criterios de evaluación*

Tomando en cuenta un conjunto de características cualitativas que ayudan a la toma de decisiones para mejorar el diseño final, para la evaluación del prototipo se ha propuesto los siguientes parámetros.

1. Seguridad
2. Costo accesible
3. Fácil acoplamiento
4. Peso dentro del estándar
5. Capacidad de desplazamiento

3.2 Módulo de Sujeción

3.2.1 *Estudio previo*

Para determinar el acople consideraremos modelos similares a los productos que funcionan con un acople accionado por el usuario, para ello tomaremos en cuenta los sistemas impulsados manualmente o eléctricamente; descartaremos sistemas de motorización por joystick y sistemas de ayuda para terceros.

En el mercado internacional se puede encontrar un sinnúmero de productos con los cuales podemos partir para el desarrollo del sistema de sujeción. Entre los más destacados tenemos los siguientes.

3.2.1.1 *BatecMobility*

Dispone de una barra central regulable, acoplada en la parte superior del chasis de la silla mediante abrazaderas, dicha barra tiene instalada en la parte central un sistema de anclaje rápido diseñado y patentado por BATEC MOBILITY.



Figura 2-3. HandbikeBatec Eléctrico.

Realizado por: (BatecMobility, 2018).

El modelo estándar para sillas rígidas se instala una barra rígida mientras que en las sillas plegables se instala una barra abatible en uno de los extremos, para plegar la silla sin necesidad de retirar la barra.



Figura 3-1. Base de HandbikeBatec.

Realizado por: (Todo Disca, 2019).

3.2.1.2 *Omnia*

Se requiere la previa instalación de una base en la parte inferior del chasis de la silla de ruedas, el anclaje es central y se produce mediante el acoplamiento de la barra del propulsor a la entrada de

la base, mediante eslabones impulsados manualmente por una palanca las ruedas delanteras se elevan y se asegura el sistema.



Figura 4-3. Handbike OMNIA.

Realizado por: (CicloTEK, 2018).

3.2.1.3 H1-12

Tiene un enganche latero, el cual se engancha en las barras delanteras de la silla de ruedas y el usuario de impulsarse manualmente, y apretar una manivela para realizar la elevación de las ruedas delanteras.



Figura 5-3. Handbike H1-12.

Realizado por: (OrtoWeb, 2018).

3.2.1.4 Firefly Electric

En este caso el enganche se lateral, mediante dos brazos que se acoplan mediante abrazaderas a el chasis de la silla de ruedas, mientras que la elevación de las ruedas delanteras se realiza mediante el impulso manual y la sujeción de articulaciones a la parte superior del chasis de la silla de ruedas.



Figura 6-3. Handbike Firefly

Realizado por: (Pinterest, 2018).

3.2.1.5 Triride

Incorpora un sistema de anclaje lateral mediante el acoplamiento de las barras laterales en horquillas previamente acopladas en el chasis de la silla de ruedas, una vez acopladas se ajustan mediante una palanca, el despegue de las ruedas delanteras se realiza mediante el impulso manual y la sujeción por pasador en dos articulaciones de la estructura del Triride.



Figura 7-3. Handbike Triride.

Realizado por: (Howiroll Sports, 2019).

En la siguiente tabla se resume las principales características de los dispositivos antes mencionados.

Tabla 1-3: Productos similares.

Marca	Anclaje	Rapidez
Batec Mobility	Central	Muy elevada
Omnia	Central	Media
H1-12	Lateral	Media
Firefly Electric	Lateral	Media
Triride	Lateral	Elevada

Fuente: Autores, 2020.

Realizado por: Autores, 2020.

3.2.2 Requisitos

A continuación, se presenta los requisitos fundamentales que se tomara en cuenta en el transcurso del desarrollo del sistema mecánico de sujeción, los siguientes conceptos se deberán cumplir para la satisfacer al usuario y que el diseño sea viable como producto en el mercado.

3.2.2.1 Mecanismo Universal

Partiendo de modelo la silla de ruedas de la misión manual espejo se busca diseñar un mecanismo que sea compatible no solo con el modelo anteriormente mencionado, debe ser compatible para diferentes sillas de ruedas tanto plegables como rígidas.

3.2.2.2 Ergonomía

El diseño deberá ser amigable con el usuario, debe facilitar la interacción tomando en cuenta la antropología y morfología del usuario, también no debe ocasionar posiciones incómodas y el peso no debe ser excesivo.

3.2.2.3 Manufactura sencilla

Para el proceso de manufactura debe ser sencillo, con herramientas y maquinaria disponible en el mercado, reduciendo los costos de mecanización.

3.2.2.4 Economizarían de materiales

Se debe tomar en cuenta usar materiales fáciles de conseguir en el mercado nacional.

3.2.3 Desarrollo

3.2.3.1 Estudio estructural

Después de analizar los diferentes tipos de productos similares, se inicia el análisis de los posibles puntos de anclaje, por lo cual se ha considerado los puntos comunes en las sillas de ruedas disponibles en el mercado nacional.



Figura 8-3. Puntos comunes de anclaje.

Realizado por: (Autores).

Después del análisis, se puede ver a simple vista los puntos comunes de las estructuras de los diferentes modelos de silla de ruedas, se ha descartado los puntos superiores debido a que disminuye el despegue de las ruedas, por lo cual se ha tomado en cuenta los puntos de sujeción inferiores de la silla.

Tomando en cuenta que el punto de sujeción debe estar ubicado en la parte superior para aumentar el despegue de las ruedas delanteras, se tomara como prioridad el diseño para silla de ruedas plegables y sillas de ruedas rígidas que tengan una estructura similar debido a que son las más comúnmente usadas en el país.

Una vez decidido los puntos comunes de anclaje inferiores, representados en la Figura 7-3, son puntos estructuralmente resistentes y soportaran la fuerza ejercida por el sistema, además ofrecen una elevación correcta para su funcionamiento.



Figura 9-3. Puntos comunes posibles de anclaje.

Realizado por: (Autores).

Después de realizar el análisis estructural de la silla de ruedas, se decide que el sistema será de dos partes una parte fija que se instalara en la estructura de la silla y una parte que se puede remover fácilmente para plegar la silla.

Analizando varios diseños conceptuales se llega a definir un sistema de sujeción sencillo que permita su instalación tanto en silla de ruedas rígidas y plegables, debido a la sencillez del diseño el costo de sustitución es relativamente económico.

3.2.4 *Diseño*

3.2.4.1 *Base de sujeción*

La base de sujeción se ha dividido en tres partes, como se puede apreciar en la Gráfico 1-3 se compone de dos abrazaderas que serán instaladas en la estructura inferior de la silla mediante la sujeción de pernos y en uno de sus extremos incorpora una base cuadrada, dos barras cuadradas replegables que ingresarán en la base de las abrazaderas y serán sujetas por un pasador, estas permitirán retirar fácilmente la base de la silla, una estructura que alojara las barras replegables, en dicha estructura también se alojara y fijara la barra de conexión con el sistema de propulsión.

Para fijar las barras cuadradas y evitar el posible cabeceo se dispone de dos tornillos que mantendrán fijas las barras con la estructura de la base, al igual que la barra de conexión con el sistema de propulsión se mantendrá fija mediante un tornillo.

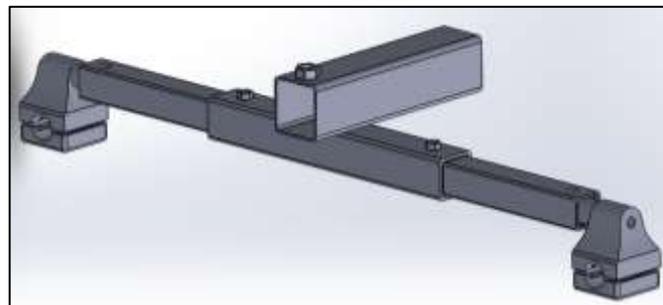


Gráfico 1-3. Base de sujeción.

Realizado por: (Autores).

El material para dichos elementos es tubo estructural cuadrado de acero con un espesor de 1.5mm, siendo este un material resistente y económico.

3.2.4.2 *Acople central*

El acople central se trata de una barra cuadrada que se puede ajustar según la distancia que el usuario considere adecuada, la barra en su extremo posee una plancha mecanizada que actuara como unión entre la base de sujeción y el sistema de propulsión, también actuara como el mecanismo para realizar la sujeción mediante un pasador.

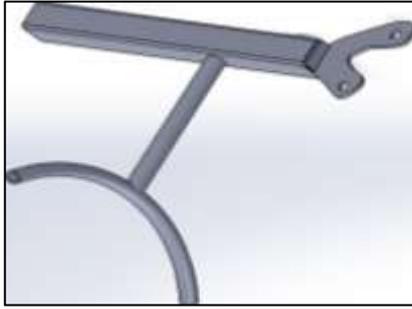


Gráfico 2-3. Acople central.

Realizado por: (Autores).

En la parte inferior posee un tubo en forma de T que actúa como base de contacto con el suelo, ayudando a que la barra cuadrada este a una altura donde el usuario pueda acceder fácilmente.

3.3 Modulo Eléctrico

3.3.1 *Requisitos del sistema*

A continuación, se mencionará una serie de condiciones específicas que se tomaran en cuenta para desarrollar y seleccionar los componentes eléctricos, para que cumpla con los requerimientos del usuario, así como un producto que sea viable económicamente y ambientalmente.

3.3.1.1 *Impermeabilidad*

Los componentes del sistema eléctrico debe ser resistente a condiciones meteorológicas, principalmente la lluvia que es comúnmente en la provincia.

3.3.1.2 *Autonomía*

El prototipo debe ofrecer al usuario un tiempo de funcionamiento prolongado para un desplazamiento diario, por lo cual se debe elegir una fuente de poder que aporte un desplazamiento entre 15 a 25 km, por carga.

3.3.1.3 *Peso Reducido*

Se debe tomar en cuenta reducir el peso de los componentes, especialmente el peso de la batería debido a que es uno de los componentes más pesados del prototipo, reducir el peso de los componentes eléctricos ayudadora en la autonomía del prototipo.

3.3.1.4 Potencia

El motor eléctrico deberá partir de un mínimo de 250 W, para prestar una velocidad aceptable, así como una aceleración rápida. Se debe considerar no superar la potencia de 500 W debido a que dichos motores generan velocidades mayores, las cuales pueden presentar peligro a los usuarios.

3.3.1.5 Voltaje

Los voltios necesarios para que el sistema funcione deben estar en un margen superior a los 24V, ya que una capacidad de almacenaje inferior a los 24 V, como podría ser el caso de los 12 V no son capaces de impulsar el prototipo.

3.3.1.6 Aceleración y desaceleración

Para el uso del usuario el arranque debe ser suave sin aceleraciones bruscas, el motor debe tener un aumento la RPM de forma gradual, así como la aceleración mediante el control manual debe ser con tacto, no debe ser muy sensible pero tampoco debe exigir demasiado esfuerzo.

3.3.2 Descripción de funcionamiento del sistema eléctrico

En el siguiente gráfico se resume de una forma básica el funcionamiento del sistema eléctrico:

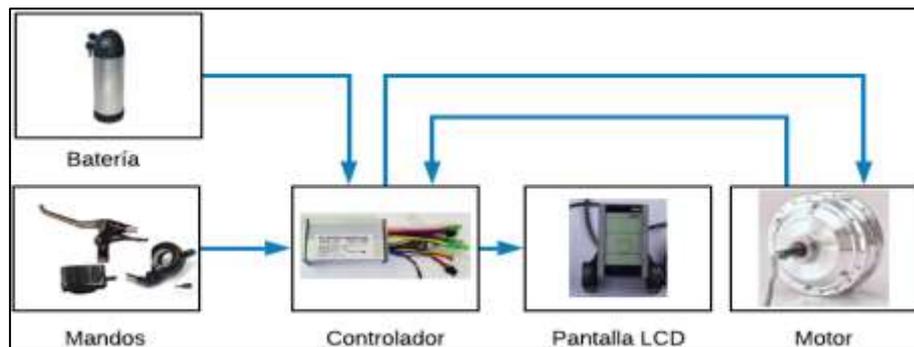


Gráfico 3-1. Sistema eléctrico.

Realizado por: (Autores).

Cuando empujamos con el pulgar el gatillo del acelerador, este envía una señal en función del giro, el controlador envía la corriente indicada hacia el motor, al accionar el freno se corta la corriente del motor, imposibilitando acelerar y frenar a la vez. La pantalla LCD muestra valores como la velocidad, nivel de batería, problemas en el motor y kilómetros recorridos.

3.3.3 Componentes del sistema eléctrico

Tomando en cuenta los parámetros establecidos anteriormente se procede a seleccionar los diferentes componentes del módulo eléctrico, para los cual también se considerará cálculos de parámetros técnicos que deberán cumplir los componentes.

3.3.4 Motor

Para poder seleccionar un motor que se acople a las exigencias previamente expuestas y que se adecuen a la estructura de la calzada, es necesario plantear condiciones reales que se tiene en el recorrido de Riobamba, con el peso del sistema de 130kg con una velocidad que promedie los 15 km/h, de cumplirse dichas condiciones el prototipo podrá satisfacer distintos recorridos, debido a que la ruta ESPOCH – UNACH que se ha seleccionada dispone de superficies planas como también ligeras pendientes.



Figura 10-3. Trayecto urbano.

Realizado por: (Autores).

En el trayecto seleccionado existen diversas elevaciones con diferentes valores de pendiente, como se puede apreciar en el siguiente gráfico:



Gráfico 4-3. Pendiente del recorrido.

Realizado por: (Autores).

Otro dato relevante para la selección del motor es la pendiente máxima que deberá recorrer, como se puede apreciar en el Gráfico 4-3 en la mayor inclinación se da entre el tramo del kilómetro 2.25 a 2.78.



Figura 11-3. Mayor pendiente en la ruta.

Realizado por: (Autores).}



Gráfico 5-3. Pendiente del recorrido.

Realizado por: (Autores).

En la Gráfico 5-3 podemos determinar que la pendiente mayor de la ruta seleccionada será 15%, equivalente a 8.53° para motivos de cálculos.

Tabla 2-3: Aproximación entre grados de pendiente y porcentaje.

Porcentaje de pendiente (%)	Grado de pendiente (°)	Porcentaje de pendiente (%)	Grado de pendiente (°)
5%	2.86°	55%	28.81°
10%	5.71°	60%	30.96°
15%	8.53°	65%	33.02°
20%	11.31°	70%	34.99°
25%	14.04°	75%	36.87°
30%	16.70°	80%	38.66°
35%	19.29°	85%	40.36°
40%	21.80°	90%	41.99°
45%	24.23°	95%	43.53°
50%	26.57°	100%	45.00°

Fuente: Regrables, 2011.

Realizado por: Autores, 2020.

3.3.4.1 Cálculo de la Fuerza de resistencia a la rodadura (F_{rr})

Para realizar el cálculo de (F_{rr}) es necesario tomar en cuenta el peso total donde se debe incluir el peso promedio de un usuario adulto, así como el peso de la silla, tal como se describe a continuación:

Tabla 3-1: Peso del prototipo.

Componente	Peso en Kg
Prototipo	15
Usuario	100
Silla de ruedas	15
Total	130

Fuente: Autores.

Realizado por: Autores, 2020.

Para determinar F_{rr} utilizaremos la siguiente ecuación:

$$F_{rr} = U_{rr} * m * g * \cos(\phi) \quad \text{Ecuación (1-3)}$$

Donde:

U_{rr} = coeficiente de fricción del hormigón

m = masa total [kg]

ϕ = ángulo de pendiente

Para el cálculo de F_{rr} del prototipo tenemos los siguientes parámetros:

$$U_{rr} = 0.015$$

$$m = 110 \text{ kg (ver tabla 3 - 3)}$$

$$\phi = 8.53^\circ$$

$$F_{rr} = 0.015 * 130 \text{ kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * \cos(8.53)$$

$$F_{rr} = 19.04 \text{ N}$$

3.3.4.2 Resistencia aerodinámica (F_{ad})

Antes de proceder a calcular F_{ad} calcularemos el área frontal del prototipo incluyendo la silla de ruedas, debido a que la mayor área de contacto con el aire es la silla de ruedas al tener un área relativamente rectangular.

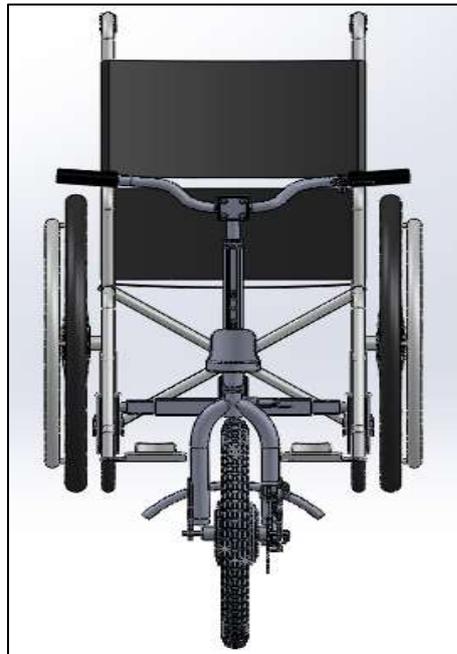


Gráfico 6-3. Sesión frontal del prototipo y la silla de ruedas.

Realizado por: (Autores).

$$A = \text{Ancho} * \text{Alto} \quad \text{Ecuación (2-3)}$$

$$A = 0.86m * 0.46m$$

$$A = 0.40 \text{ m}^2$$

Se ha considerado que la velocidad adecuada la resistencia aerodinámica es de $1.11 \frac{m}{s}$ equivalente a $4 \frac{km}{h}$, dicha velocidad es considera para pendientes, en superficies planas se podrá alcanzar hasta $20 \frac{km}{h}$, para determinar la resistencia aerodinámica (F_{ad}) utilizaremos la siguiente ecuación:

$$F_{ad} = \frac{1}{2} \rho A C_d v^2 \quad \text{Ecuación (2-3)}$$

Donde:

$\rho =$ la densidad del aire en Riobamba $0.834 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$.

$A =$ Área sección frontal del sistema $[m^2]$.

$C_d =$ coeficiente de arrastre.

$v =$ velocidad de pendiente $\left[\frac{m}{s} \right]$.

$$F_{ad} = \frac{1}{2} * 0.834 \frac{kg}{m^3} * 0.40 m^2 * 0.5 * \left(1.11 \frac{m}{s} \right)^2$$
$$F_d = 0.064 N$$

3.3.4.3 Resistencia de pendiente (F_{hc})

Para el cálculo de F_{hc} del prototipo utilizaremos la siguiente ecuación:

$$F_{hc} = m * g * \text{sen}(\phi) \quad \text{Ecuación (3-3)}$$
$$F_{hc} = 130kg * 9.81 m/s^2 * \text{sen}(8.53^\circ)$$
$$F_{hc} = 169.16 N$$

3.3.4.4 Calculo fuerza de aceleración (F_{la})

Para el cálculo de (F_{la}) se toma una aceleración de $0.04 \frac{m}{s^2}$ (Larminie, 2004), debido a que el prototipo subirá una pendiente tiene que mantener una celebración pequeña, para lo cual utilizaremos la siguiente ecuación:

$$F_{la} = m * a \quad \text{Ecuación (4-3)}$$
$$F_{la} = 130 kg * 0.04 m/s^2$$
$$F_{la} = 5.2 N$$

3.3.4.5 Calculo de fuerza de tracción eléctrica total (F_{te})

La F_{te} esta fuerza será la que el motor eléctrico deberá proporcionar. Utilizaremos la siguiente ecuación:

$$F_{te} = F_{rr} + F_{ad} + F_{hc} + F_{la} \quad \text{Ecuación (5-3)}$$

$$F_{te} = 19.04N + 0.064N + 169.16N + 5.2N$$

$$F_{te} = 193.46 N$$

3.3.4.6 *Calculo de Torque requerido (T_n)*

Para determinar “El torque necesario depende del radio de las ruedas y la fuerza de empuje”. (Becerril, 2014).

Para lo cual usaremos la siguiente ecuación:

$$T_n = R * F \quad \text{Ecuación (6-3)}$$

Donde:

$R = \text{radio del Neumatico [m]}$

$F = \text{fuerza de empuje [N]}$

En el caso del prototipo se planea usar un neumático RIN 20 equivalente a 0.254 m, en el caso de la fuerza de empuje será equivalente a F_{te} calculado anteriormente.

Sustituyendo los valores de R y F en la siguiente ecuación tenemos:

$$T_n = 0.254 m * 193.46N$$

$$T_n = 49.14 N$$

3.3.4.7 *Calculo de la velocidad angular(ω)*

Para calcular la velocidad angular utilizaremos la siguiente ecuación:

$$\omega = \frac{v_{max}}{R} \quad \text{Ecuación (7-3)}$$

Donde:

$\omega = \text{Velocidad angular en [rad/s]}$

$v_{max} = \text{Velocidad máxima del motor eléctrico [m/s]}$

$R = \text{radio del Neumatico [m]}$

En el caso de nuestro prototipo se ha considerado la utilización de un motor eléctrico que proporcione como máximo una velocidad de $20 \frac{km}{h}$ equivalente a $5.55 \frac{m}{s}$.

Sustituyendo los valores de v_{max} y R en la Ecuación (7-3) tenemos:

$$\omega = \frac{5.55 \frac{m}{s}}{0.254 m}$$

$$\omega = 21.85 \frac{rad}{s}$$

Debido a que los motores tienen especificaciones en RPM, es conveniente el cambio de unidades:

$$\omega_{RPM} = \frac{\omega_{rad} * 60}{2\pi} \quad \text{Ecuación (8-3)}$$

$$\omega_{RPM} = \frac{21.85 * 60}{2\pi}$$

$$\omega_{RPM} = 208.66 \text{ RPM}$$

3.3.4.8 *Calculo de potencia teórica (P_T)*

La potencia teórica está en función a la velocidad del vehículo (velocidad máxima en una pendiente equivalente a $1.11 \frac{m}{s}$) y la fuerza de tracción (F_{te}) que requerirá el prototipo, para el cálculo utilizaremos la siguiente ecuación:

$$P_T = F_{te} * v_{max} \quad \text{Ecuación (9-3)}$$

$$P_T = 193.46 \text{ N} * 1.11 \frac{m}{s}$$

$$P_T = 214.74 \text{ W}$$

3.3.4.9 *Calculo de potencia real (P_R)*

Considerando la alta eficiencia del motor Brushless, utilizaremos la siguiente ecuación:

$$P_R = \frac{P_T}{n} \quad \text{Ecuación (10-3)}$$

La eficiencia máxima del motor Brushless es $n = 80\%$.

$$P_R = \frac{214.74}{0.80}$$

$$P_R = 268.43 \text{ W}$$

3.3.4.10 Selección de motor eléctrico Brushless

Tomando en cuenta los parámetros anteriormente mencionados así como la potencia real equivalente a $P_R = 268.43 \text{ W}$ se buscara en el mercado nacional un motor que supere los 268.43W y sea inferior a 500W debido a que un motor que supere los 500W sobrepasa la velocidad recomendada.

3.3.4.11 Especificaciones técnicas del motor eléctrico Brushless

Tabla 4-3: Especificaciones del motor eléctrico.

Especificaciones	
Tipo de motor	Motor Brushless
Voltaje	36V
Potencia	350 W
Velocidad Máxima	25 km/h
Eficiencia	$\geq 80\%$
RPM	330
Numero de velocidades	5
Peso	2.8 kg
Tipo freno	Disco
Imagen	

Fuente: Ebay, 2019.

Realizado por: Autores, 2020.

3.3.5 Batería

Una vez determinado el motor eléctrico y conocido los distintos tipos de baterías, se procederá a determinar la batería adecuada que preste una autonomía acorde a las necesidades anteriormente expuestas, también se debe considerar las limitaciones del mercado nacional.

3.3.5.1 *Calculo de la Capacidad específica de la batería (A)*

Para que una batería no se afecte el normal ciclo de trabajo esta no debe descargarse por debajo del 80% de su capacidad de carga, para calcular la capacidad específica de las baterías utilizaremos la siguiente ecuación:

$$I_{Batería} = \frac{P_{motor} * \eta_{motor}}{V_{funcionamiento} * \%descarga} \quad \text{Ecuación (10-3)}$$

Donde:

$I_{batería}$ = Capacidad específica de la batería [A]

P_{motor} = Potencia del motor [W]

η_{motor} = Eficiencia del motor

$V_{funcionamiento}$ = Voltaje de funcionamiento [V]

$\%descarga$ = Porcentaje de descarga de la batería

Utilizando la Ecuación (10-3) con los valores anteriormente calculados determinamos:

$$I_{Batería} = \frac{350W * 0.8}{36V * 0.8}$$
$$I_{Batería} = 9.72 A$$

3.3.5.2 *Calculo de la Energía*

Para determinar la cantidad de energía (Vatio-hora) que la batería tendrá que tener acumulada utilizaremos la siguiente ecuación:

$$Energía_{batería} = Ah * V \quad \text{Ecuación (11-3)}$$

Sustituyendo los datos previamente determinados en la Ecuación (11-3) tendremos:

$$Energía_{batería} = 9.72Ah * 36V$$
$$Energía_{batería} = 350 Wh$$

Sin embargo el valor de la energía anteriormente calculado es una aproximación teórica, debido a que no se ha considera que el voltaje en el transcurso del tiempo de funcionamiento disminuirá, y en la práctica es imposible disponer de las gráficas de las curvas de descarga de una batería en

específico. Sin embargo el cálculo de la batería nos ayudara a la selección de la misma, debido a que los Wh y Ah forman parte de los parámetros técnicos de la misma.

3.3.5.3 Selección de batería

Una vez determinado las principales característica que deberá tener la batería para cumplir las necesidades de funcionamiento del motor eléctrico y la disponibilidad en el mercado nacional procedemos a seleccionar la siguiente batería que se describe en la siguiente tabla:

Tabla 5-3: Especificaciones de la batería.

Especificaciones	
Modelo	Batería botella
Voltaje	36V
Capacidad	9 Ah
Energía	324 Wh
Ciclos de carga	500 \geq (80% e capacidad)
Dimensión	31.8x9.8x10 (cm)
Peso aproximado	2.5 Kg
Temperatura de carga	0 °C - 45 °C
Temperatura de descarga	20 °C - 60 °C
Imagen	

Fuente: GobaSources, 2019.

Realizado por: Autores, 2020.

3.3.5.4 Calculo del tiempo de carga

Para determinar el tiempo de carga de la batería se debe relacionar la capacidad de la batería con la capacidad del cargador, para lo cual utilizaremos la siguiente ecuación:

$$T_{Carga} = \frac{\text{Capacidad de batería}}{\text{Capacidad de cargador}} \quad \text{Ecuación (12-3)}$$

$$T_{Carga} = \frac{9 \text{ Ah}}{2 \text{ Ah}}$$

$$T_{carga} = 4.5h$$

3.3.5.5 Autonomía teórica de la batería

Para determinar la autonomía que ofrecerá el motor eléctrico, debemos conocer la velocidad máxima del motor, así cuanto electricidad consumirá el motor eléctrico. (Tucanobikes, 2011)

Por lo cual usaremos la siguiente ecuación:

$$At = \frac{V * I * V_{max}}{P} \quad \text{Ecuación (13-3)}$$

Donde:

$At =$ Autonomía [km]

$V =$ voltaje [V]

$I =$ Amperaje de la batería [Ah]

$V_{max} =$ Velocidad máxima de recorrido $\left[\frac{km}{h} \right]$

$P =$ Potencia del motor [W]

Para superficies planas se considerara una velocidad máxima de $25 \frac{km}{h}$.

$$At = \frac{36V * 9Ah * 25 \frac{km}{h}}{350W}$$
$$At = 23.14 km$$

Dicha velocidad concuerda con la autonomía proporcionada por el fabricante, sin embargo se debe considerar que dicho calculo esta realizado tomando en cuenta la velocidad máxima permitida en superficies planas, para la autonomía en pendiente consideraremos una velocidad máxima de $4 \frac{km}{h}$.

$$At = \frac{36V * 9Ah * 4 \frac{km}{h}}{350W} = 3.7 km$$

Por lo cual se recomienda que se evite camino con excesivos desniveles debido a que la autonomía se verá comprometida, así como en pendientes excesivamente pronunciadas el motor tendera a detenerse debido a que la potencia no es la específica para dichas rutas.

3.3.6 Selección de controlador

Se tomara en cuenta que la intensidad máxima que soporte el controlador es limitante para la potencia real del motor. (Bikelec, 2015)

Para lo cual el controlador seleccionado debe ser superior a los 9Ah de la batería. Debido a los requisitos anteriormente expuestos se ha decidido utilizar el controlador de 36V 15A, las características técnicas se describen en la siguiente tabla:

Tabla 6-3: Especificaciones del controlador.

Especificaciones	
Tipo	Controlador para Motor Brushless
Voltaje	36V
Máxima corriente	15A
Corriente Nominal	7A
Protección de bajo voltaje	30V
Tamaño del controlador	85x52x30mm
Peso	11.71 oz
Material	Aluminio
Imagen	

Fuente: Autores, 2020.

Realizado por: Autores, 2020.

3.3.6.1 Descripción de controlador

El controlador tiene como misión controlar distintas funciones de un sistema, en el caso del prototipo realizaran las siguientes funciones que se muestran en la Figura 12-3.



Figura 12-3. Función de cables de controlador.

Realizado por: (Autores).

Como se puede apreciar en la Figura 12-3 cada salida realiza una función en específico, que se describirá en la siguiente tabla:

Tabla 7-3: Salidas del controlador.

Numero	Función	Cables
1	Batería 36V	Alimenta el controlador.
2	Motor Brushless	Controla las fases del motor.
3	Freno	Desacelera el motor.
4	Sensor Hall	Determina la posición del motor.
5	Pantalla LCD	Indica los valores de funcionamiento.
6	Sensor de pedaleo	Suprimido.
7	Acelerador	Transmite la velocidad que quiere el usuario.

Fuente: Autores, 2020.

Realizado por: Autores, 2020.

3.4 Modulo mecánico

3.4.1 Descripción de Modulo mecánico

Es el conjunto de los elementos no eléctricos los cuales cumplen funciones específicas de gran importancia en el funcionamiento del prototipo, este elemento se describirá en la tabla 8-3.

Como se puede apreciar en la Gráfico 7-3 el módulo mecánico está compuesto de distintos componentes, entre los cuales podemos encontrar dos tipos, los elementos estandarizados que fueron adquiridos en mercado nacional y los elementos que fueron diseñados y construidos, dichos elementos se resumen en la siguiente tabla:



Gráfico 7-3. Módulo Mecánico.

Realizado por: (Autores).

Tabla 8-3: Componentes del módulo mecánico.

Elemento	Origen
Dispositivo de sujeción	Diseñado y manufacturado
Aro	Estándar
Neumático	Estándar
Radios	Estándar
Disco	Estándar
Mordazas	Estándar
Manubrio	Estándar
Espiga de dirección	Estándar
Pistas de dirección	Estándar

Fuente: Autores, 2020.

Realizado por: Autores, 2020.

3.4.2 *Dispositivo de sujeción*

3.4.2.1 *Requisitos del Dispositivo de sujeción*

Dicho dispositivo debe permitir unir el acople central del prototipo con la parte estructural que contiene el motor permitiendo el despegue de las aros delanteras de la silla de ruedas, debe ser de fácil manipulación del usuario y de prioridad el accionamiento debe estar en el volante.

3.4.2.2 Diseño del Dispositivo de sujeción

Para permitir la rápida unión entre el acople central y la parte estructural es necesario la unión mediante un pasador entre los orificios de las dos partes, para lo cual se optó por un pasador impulsado por un resorte dentro de una cámara cilíndrica, disco diseño se puede apreciar en la siguiente imagen:



Gráfico 8-3. Dispositivo de sujeción.

Realizado por: (Autores).

Como se puede apreciar el dispositivo de sujeción cumple los requisitos anteriormente mencionados, su funcionamiento se realiza mediante la aplicación de una pequeña fuerza en la palanca ubicada en el volante, la cual comprime el resorte y permite el acoplamiento de las dos partes, al retirar la fuerza el resorte regresara a su posición original impulsando al pasador entre los orificios del dos partes, en la siguiente imagen se aprecia las dos opciones del dispositivo de sujeción.



Gráfico 9-3. Funcionamiento del dispositivo de sujeción.

Realizado por: (Autores).

3.4.3 Aro

3.4.3.1 Requisitos de la aro

El aro será la encargada de alojar el neumático y hacer de conexión con el motor eléctrico, por lo cual se deberá tomar en cuenta el número de radios que requiere utilizar el motor eléctrico, en este caso 36 radios.



Figura 13-2. Aro rin 20.

Realizado por: (Autores).

También se deberá considerar encontrar un aro con un radio que permita un desplazamiento urbano adecuado, así como que el radio de la rueda permita realizar giros adecuadamente.

3.4.3.2 Selección y justificación de la Aro

La elección de la aro se ha basado en el número de radios por lo cual se ha limitado la selección de una aro de acero de 20 pulgadas, debido a que su tamaño se adecua a las necesidades de giro del prototipo.

3.4.4 Neumático

3.4.4.1 Requisitos de la Neumático

El neumático del prototipo será la encargada de la parte motriz y directriz del prototipo, las características de la misma afectaran directamente en la tracción y amortiguación de las irregularidades del terreno.

Se requiere que la misma ofrezca adherencia en los momentos de tracción de potencia y de frenado, así como debe ser una rueda estándar que pueda ser adquirida en cualquier tienda de repuestos de bicicleta.

3.4.4.2 Selección y justificación del Neumático.

La elección de la rueda se ha basado en el tipo de labrado que permite una adherencia en distintos tipos de material, sin perder tracción del motor, de la misma así como la relación calidad precio.



Figura 14-3. Neumático rin 20.

Realizado por: (Autores).

3.4.5 Radios

3.4.5.1 Requisitos de los Radios

Son los encargados de transmitir la torsión generada en el motor Asia la aro, los mismo deberán resistir la potencia generada del motor debido a esto se deberá seleccionar radios de mayor calidad que los normalmente usados en bicicletas. También se deberá considerar al ser la unión entre la aro y el motor el mismo deberá tener una distancia adecuada entre los mismo, sin comprometer su correcta instalación.

3.4.5.2 Selección y justificación de los Radios

Se ha decidido usar radios de bicicleta semireforzados de longitud 170 mm esto debido a que los mismos por su mayor diámetro resiste mucho mejor la fuerza ejercida sobre los mismo, se ha descartado el uso de radios reforzados debido a que los mismos poseen un diámetro que no coincide en la manzana del motor.



Figura 15-3. Radios 170mm.

Realizado por: (Autores).

3.4.6 Disco

3.4.6.1 Requisitos del Disco

Se ha visto la necesidad de un freno potente que responda rápidamente a las acciones de frenado del usuario, por lo cual sea optado por un sistema de freno por disco, por lo cual el disco seleccionado debe cumplir los requisitos de tamaño de la manzana del motor.

3.4.6.2 Selección y justificación del Disco

Se ha seleccionado un disco de acero de un diámetro 160mm el mismo ofrece una mayor capacidad de frenado con respecto a otros sistemas de freno.



Figura 16-3. Disco de freno.

Realizado por: (Autores).

3.4.7 Mordazas

3.4.7.1 Requisitos de las Mordazas

Las mismas se encargarán de disminuir el desplazamiento del sistema, las mismas deben ser regulables en su ubicación, esto debido a que ciertos modelos son fijos es decir están diseñados para la estructura de una bicicleta.

3.4.7.2 Selección y justificación de las mordazas

Se ha decidido usar un par de mordazas del modelo Luxe F160/R140 debido a que las mismas permiten regular su posición del disco respecto a base de la misma.



Figura 17-3. Mordazas Luxe F160/R.

Realizado por: (Autores).

3.4.8 Manubrio

3.4.8.1 Requisitos del manubrio

Debe ser lo suficientemente amplio para poder alojar los distintos elementos que el usuario deberá manipular para poder operar el prototipo. Así como debe poder rotar su posición para alejar o acercar el mismo al usuario, en el caso que este lo necesite.

3.4.8.2 Selección y justificación del manubrio

Se ha escogido un manubrio de dos alturas debido a que su estructura permite cumplir los parámetros anteriormente expuestos, así como permite la instalación de los diferentes elementos de control ofreciendo una mayor comodidad y maniobrabilidad al usuario al momento de manipular el prototipo.



Figura 18-3. Manubrio de dos alturas.

Realizado por: (Autores).

3.4.9 Espiga de dirección

3.4.9.1 Requisitos de la Espiga de dirección

Debe permitir el fácil desmontaje tanto de la estructura superior, así como el manubrio, también debe permitir una regulación de la dirección y la altura de la misma.

3.4.9.2 Selección y justificación de la Espiga de dirección

Se ha seleccionado una espiga de dirección modelo GT debido a que la misma al tener cuatro puntos de anclaje facilita retirar el volante si es necesario retirar los demás elementos del manubrio.



Figura 19-3. Espiga de dirección GT.

Realizado por: (Autores).

3.4.10 Pistas de dirección

3.4.10.1 Requisitos de las Pistas de dirección

Las mismas deben permitir un fácil giro de la dirección, por lo cual deberá tener rodamientos que faciliten dicho trabajo. En este aspecto la calidad es fundamental debido a que son componentes que por el trabajo ejercido sufren un mayor desgaste por lo cual se debe priorizar la calidad del mismo.

3.4.10.2 Selección y justificación de las Pistas de dirección

Se ha seleccionado el juego de pistas de dirección marca First Components debido a que tiene una buena relación precio calidad, y tienen un mayor tiempo de vida que marcas genéricas.



Figura 20-3. Pista de dirección.

Realizado por: (Autores).

3.5 Modulo estructural

3.5.1 Requisitos del módulo estructural

Como principal requisito se deberá tomar en cuenta la altura promedio en la que un usuario de silla de ruedas pueda manipular fácilmente la dirección, así como se deberá considerar la implementación de elementos como rodamientos para que faciliten el uso de la dirección.

Sin embargo, también se deberá considerar los aspectos económicos en el momento de la selección de materiales.

3.5.2 Diseño del módulo estructural

Se puede considerar al manillar el conjunto de estructuras tanto exterior e interior que cumplen la función de alojar el motor, mordazas de freno, dispositivo de sujeción, dirección y hacer de unión con el acople central, en la siguiente imagen se aprecie el manillar armado.



Gráfico 10-3. Modulo estructural.

Realizado por: (Autores).

Como se puede apreciar en la Gráfico 10-3 el manillar se compone de diferentes elementos que al acoplarse permiten la realización de anteriormente expuestas en los requisitos, también se puede apreciar que está compuesto tanto e elementos estándar adquiridos, como también elementos diseños y manufacturados, en la siguiente tabla se enumera los diferentes componentes.

Tabla 9-3: Componentes del módulo estructural.

Elemento	Origen
Estructura Superior	Diseñado y manufacturado
Estructura Inferior	Diseñado y manufacturado

Fuente: Autores, 2020.

Realizado por: Autores, 2020.

3.5.3 Estructura Superior

3.5.3.1 Requisitos de la Estructura Superior

Se debe considerar que en la estructura superior alojará la batería por lo cual debe tener una altura superior a la batería, también debe alojar las pistas de dirección por lo cual se deberá tener en consideración el diámetro de las pistas, igualmente se deberá considerar la utilización de materiales resistentes debido a que servirá como enlace con el acople central.

3.5.3.2 Diseño de la Estructura Superior

Tomando en cuenta que la estructura superior alojara las pistas de dirección se optó por utilizar un tubo de acero de un diámetro interior equivalente al diámetro exterior de las pistas, también se debe considerar instalar pernos que servirían para la instalación de la base de la batería.

Igualmente se ha considerado la implantación de dos bases en la parte inferior para que sirvan como unión con el acople central.



Gráfico 11-3. Estructura superior.

Realizado por: (Autores).

La estructura superior cumple los requisitos anteriormente mencionados, especialmente las bases inferiores que fueron diseñadas en función a la base del acople central y aloja la base de la batería como se aprecia en el siguiente gráfico.

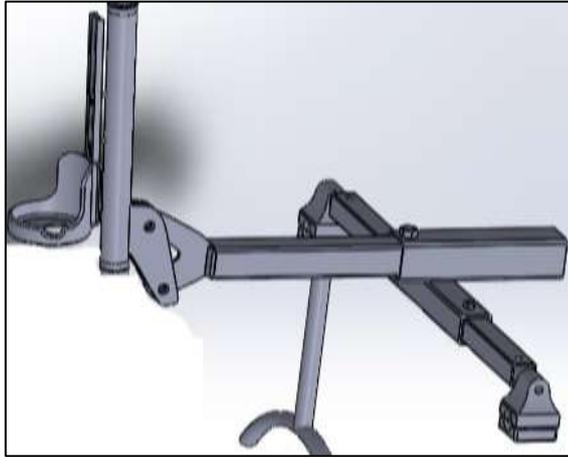


Gráfico 12-3. Unión base superior y acople central.

Realizado por: (Autores).

3.5.4 Estructura Inferior

3.5.4.1 Requisitos de la Estructura Inferior

En la estructura inferior se debe considerar que la misma alojara el motor eléctrico, por lo cual se debe tomar en cuenta el ancho adecuado que debe tener en la estructura para poder alojar el motor, también se debe tomar en cuenta que en la parte superior se alojara la espiga de dirección por lo cual el diámetro del tubo debe ser acorde al diámetro de la espiga de dirección.

Uno de los factores importantes es disminuir el peso de la misma debido a que las bases que alojarán el motor se deberán manufacturar con planchas de 6mm por lo cual se deberá busca la forma de optimizar el diseño para reducir el peso del mismo. También la base del motor deberá servir como la base de las mordazas de freno.

3.5.4.2 Diseño de la Estructura Inferior

Tomando en cuenta que la estructura inferior alojara el motor se ha considerado una distancia de 20 cm entre las bases de la misma, se ha reduciendo material en la parte central de las bases del motor, reduciendo el peso sin comprometer la resistencia de las misma.

Una de las bases se ha modificado para que también sirvan como acople de las mordazas, esto tomando en cuenta el tamaño de la misma. Igualmente se ha utilizado un tubo de un diámetro interior similar al diámetro exterior de la espiga de dirección.



Gráfico 13-3. Estructura inferior.

Realizado por: (Autores).

El diseño de la estructura superior cumple los requisitos anteriormente mencionados, alojando los demás componentes como se puede apreciar en la siguiente gráfica.

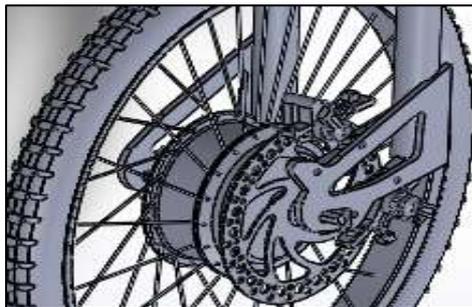


Gráfico 14-3. Alojamiento de componentes.

Realizado por: (Autores).

3.6 Análisis de carga del prototipo

3.6.1 Análisis de estructura inferior

Para la construcción de la estructura del prototipo se ha seleccionado el material acero estructural ASTM A36, que tiene un límite de fluencia de 250MP, para lo cual nos ayudaremos del software ANSYS.

Tomando en cuenta que la estructura superior soporta un peso aproximado de 100kg en la parte delantera donde se encuentra el motor, por lo cual debemos utilizar la siguiente ecuación:

$$F_{aplicada} = W_{aplicado} * 9.81 \frac{m}{s^2} \quad \text{Ecuación 13-3}$$

Donde:

$F_{aplicado}$ = fuerza que se ejerce al soporte del motor [N]

$W_{aplicado}$ = Peso aplicado al soporte del motor [kg] = 100kg

Remplazando los valores, obtenemos:

$$F_{aplicada} = 100kg * 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$F_{aplicada} = 981 N$$

Entonces la fuerza aplicada en cada brazo será 490.5 N.

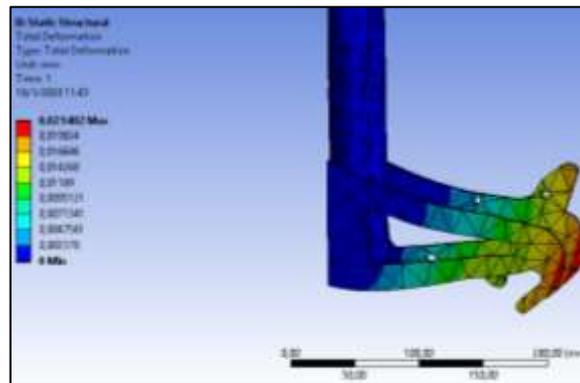


Gráfico 15-3. Deformación total de la estructura inferior.

Realizado por: (Autores).

La deformación máxima de la estructura superior es de 0.021mm.

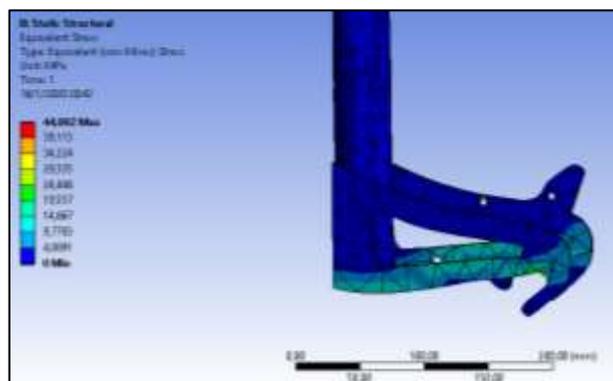


Gráfico 16-3. Tensión equivalente (Von Mises) Estructura inferior.

Realizado por: (Autores).

La tensión máxima de la estructura superior es de 44.002 MPa, el factor de seguridad se calcula a partir de:

$$\sigma_{V.M} = \frac{S_Y}{N} \quad \text{Ecuación 14-3}$$

$$N = \frac{S_Y}{\sigma_{V.M}}$$

$$N = \frac{250MPa}{44.002MPa}$$

$$N = 5.68$$

La deformación máxima de 0.021 mm establece que el diseño tiene una variación despreciable, el factor de seguridad de 5.68 establece que el diseño es seguro.

3.6.2 *Análisis de estructura superior*

En el caso de los soportes de la estructura superior estará sometida a dos fuerzas entre las cuales tenemos a la fuerza ejercida por el motor equivalente a $F_1 = 490.5 \text{ N}$ y el peso del prototipo de 15kg.

$$F_2 = 15kg * 9.81 \frac{m}{s^2} = 147N$$

$$F_2 = \frac{147N}{2} = 73.5N$$

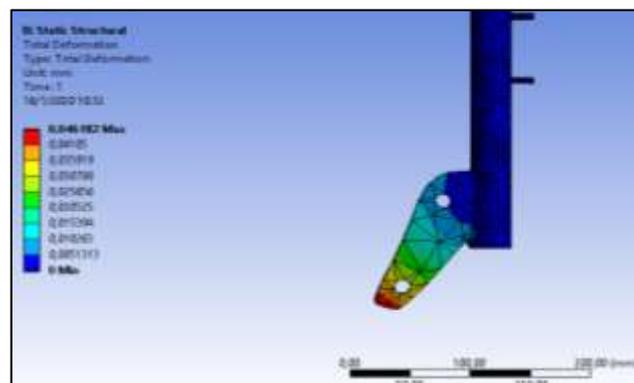


Gráfico 17-3. Deformación total de la estructura superior.

Realizado por: (Autores).

La deformación máxima de la estructura superior es de 0.046mm.

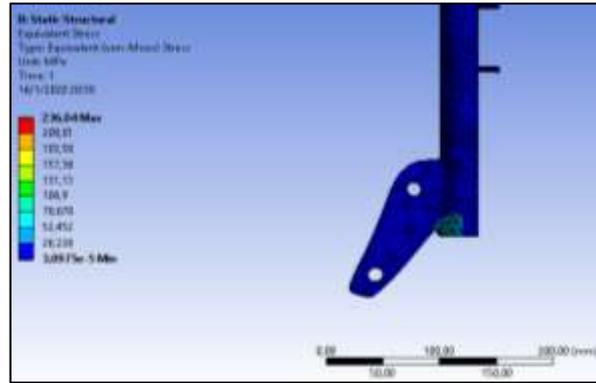


Gráfico 18-3. Tensión equivalente (Von Mises) Estructura superior.

Realizado por: (Autores).

La tensión máxima de la estructura superior es de 236.04 MPa. La deformación máxima de 0.046 mm establece que el diseño tiene una variación despreciables, con la tensión equivalente calculada de 236.04 MPa, del cual se obtiene un factor de seguridad de 1.6.

3.6.3 *Análisis del acople central*

Para el siguiente análisis tomamos en cuenta la fuerza aplicada de $F_1=981N$ esta fuerza se desplaza con un ángulo de 30.78° .

$$\text{sen}(30.78^\circ) = \frac{F_y}{981N}$$

$$F_y = \text{sen}(30.78^\circ) * 981N = 502.01 N$$

$$\text{cos}(30.78^\circ) = \frac{F_x}{981}$$

$$F_x = \text{cos}(30.78^\circ) * 981N = 842.81N$$

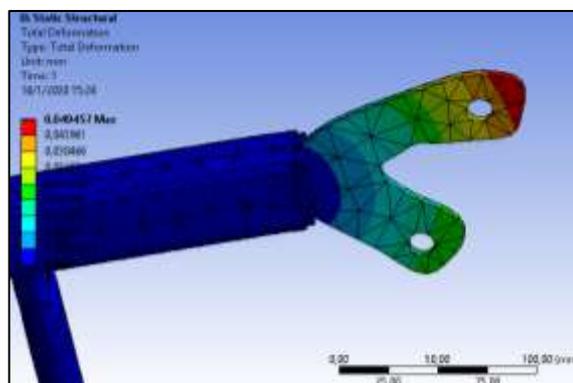


Gráfico 19-3. Deformación total del acople central.

Realizado por: (Autores).

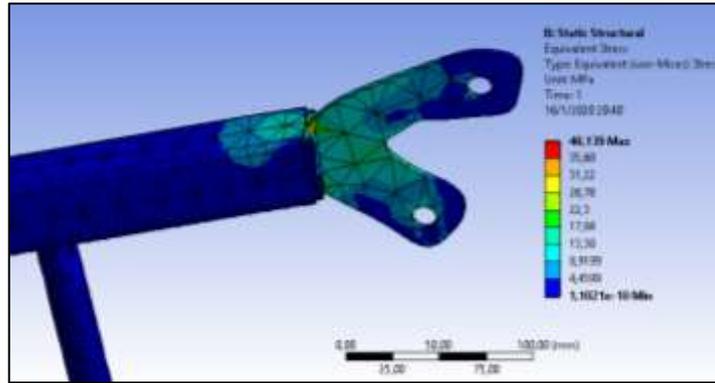


Gráfico 20-3. Tensión equivalente (Von Mises) Acople central.

Realizado por: (Autores).

La deformación máxima de 0.049 mm establece que el diseño tiene una variación despreciable, con la tensión equivalente calculada de 40.139 MPa, del cual se obtiene un factor de seguridad de 6.22 indicando que el diseño es seguro.

3.6.4 *Análisis del soporte de sujeción*

Las cargas que interfieren en el soporte de sujeción son el peso de la silla de ruedas y el peso del usuario, estas cargas se dividirán entre los dos soportes.

$$F = \frac{(15kg + 100kg)}{2} * 9.81 \frac{m}{s^2} = 564.075 N$$

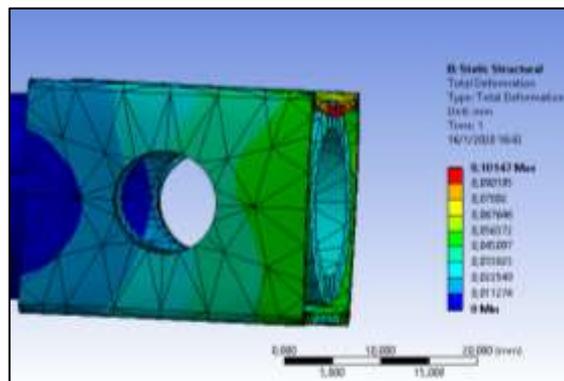


Gráfico 21-3. Deformación total del soporte de sujeción.

Realizado por: (Autores).

La deformación máxima de la estructura superior es de 0.101 mm.

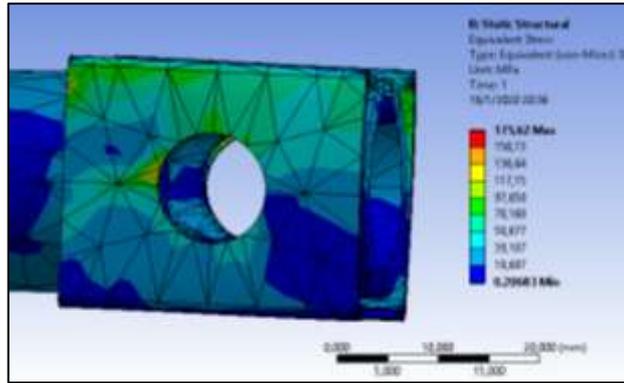


Gráfico 22-3. Tensión equivalente (Von Mises) Soporte de sujeción.

Realizado por: (Autores).

La tensión máxima de la estructura superior es de 175.62 MPa. La deformación máxima de 0.101 mm establece que el diseño tiene una variación despreciables, con la tensión equivalente calculada de 175.62 MPa, del cual se obtiene un factor de seguridad de 1.42 indicando que el diseño es seguro.

3.7 Construcción del prototipo de propulsión

3.7.1 Construcción módulo de sujeción

3.7.1.1 Base de sujeción

Para la construcción de la base de sujeción se tomó en cuenta que en la misma debía ingresar el acople central y las barras de sujeción por lo cual se construyó con tubo rectangular acero estructural ASTM A36 de 40x40x2mm para la parte superior que alojara al acople central, mientras que para la parte inferior se utilizó tubo rectangular de acero estructural ASTM A36 de 1 ½in x 1 ½in x 2mm.



Figura 21-3. Soldadura de la base de sujeción.

Realizado por: (Autores).

La base de sujeción se unió mediante soldadura eléctrica 6011, también se vio en la necesidad de incluir turcas de ½ in en la barra inferior y tuercas de ¼ in en uno de los extremos de la barra superior que junto a los correspondientes seguros se encargaran de inmovilizar tanto las barras laterales como el acople central.



Figura 22-3. Soldadura de tuercas en la base de sujeción.

Realizado por: (Autores).

3.7.1.2 Barras de sujeción

Las barras de sujeción se encargarán de la regulación del ancho de la base para poder ser acoplado a distintos modelos, considerando que la misma ingresara en la barra inferior de la base se seleccionó un tubo rectangular de acero estructural ASTM A36 de 1 ¼in x 1 ¼in x 1.50mm que ingresa con un juego mínimo, en uno de sus extremos se realizó una perforación para que se acople mediante pernos con los soportes de sujeción.



Figura 23-3. Barras de sujeción.

Realizado por: (Autores).

3.7.1.3 Soporte de sujeción

Para la construcción del soporte de sujeción nos ayudaremos de una espiga de dirección de bicicleta GT debido a que la misma puede colocarse fácilmente a estructuras circulares de un diámetro similar a los tubos del chasis de la silla de ruedas, a dicha espiga se le modificara la salida soldado un tubo rectangular de acero estructural ASTM A36 de 1in x 1in x 1.5mm que será perforado para que el mismo ingrese en el interior de la barra de sujeción.



Figura 24-3. Soldadura soporte de sujeción.

Realizado por: (Autores).

3.7.1.4 Acople central

Procedemos a construir la base del acople central en base al diseño en CAD en una plancha de acero ASTM A36 de 8mm de espesor, la misma será soldada en el interior de un tubo rectangular de acero estructural ASTM A36 de 1 ½ in x 1 ½ in x 1.2mm.



Figura 25-3. Soldadura de acople central.

Realizado por: (Autores).

Posteriormente construiremos la base del acople central con un tubo redondo de acero estructural ASTM A36 de 1 in x 1.5mm.



Figura 26-3. Soldadura de la base del acople central.

Realizado por: (Autores).

Una vez construida la base procedemos a soldar la base a la parte inferior del acople central.



Figura 27-3. Soldadura la base al acople central.

Realizado por: (Autores).

3.7.2 Construcción módulo estructurar

3.7.2.1 Construcción de la estructura superior

La estructura superior está formada a partir de un tubo circular de acero estructural ASTM A36 de 1 ½ in x 1.5mm el mismo que permitirá la colocación de las pistas para la dirección, en la parte inferior se soldará las bases que unirá la estructura inferior con el acople central, por lo cual se debe centrar las dos bases, con respecto al acople central.



Figura 28-3. Centrado de bases de la estructura superior.

Realizado por: (Autores).

En la parte delante se soldaran tornillos de $\frac{1}{4}$ in que serán los encargados de alojar a la base de la batería.



Figura 29-3 Soldadura de pernos para la base de la batería.

Realizado por: (Autores).

3.7.2.2 Construcción de la estructura inferior

Se procede a aumentar a aumentar la longitud superior de la horquilla de bicicleta MX para que coincida con la longitud de la estructura superior, esto mediante la suelda de un tubo redondo de acero estructural ASTM A36 de 1 in x 1.5mm, el cual concuerda con el diámetro original de la horquilla.



Figura 30-3. Aumento de horquilla de dirección.

Realizado por: (Autores).

Para la construcción de las bases del motor se parte del diseño de CAD, para lo cual se utilizó una plancha de acero ASTM A36 de 8mm de espesor, teniendo en cuenta que una de las bases tendrá otro diseño debido a que también incorpora las mordazas de freno.



Figura 31-3. Corte de bases de motor.

Realizado por: (Autores).

Posteriormente se unieron las bases del motor con la parte inferior de la horquilla mediante suelda eléctrica 6013.



Figura 32-3. Soldadura de base de motor.

Realizado por: (Autores).

3.7.3 Construcción módulo mecánico

3.7.3.1 Dispositivo de sujeción

El dispositivo de sujeción está conformado por un perno $\frac{1}{2}$ in limitado por una rodela que actuara de tope para el resorte, al perno se le unió en la parte superior una base para el cable de activación, tubo redondo de acero estructural ASTM A36 de 1 in x 1.5mm para el cilindro.



Figura 33-3. Torneado y soldadura de perno para dispositivo de sujeción.

Realizado por: (Autores).

Una vez que se tiene todo el elemento se procede a ensamblarlos y unir el dispositivo a la estructura inferior mediante suelda eléctrica 6011.

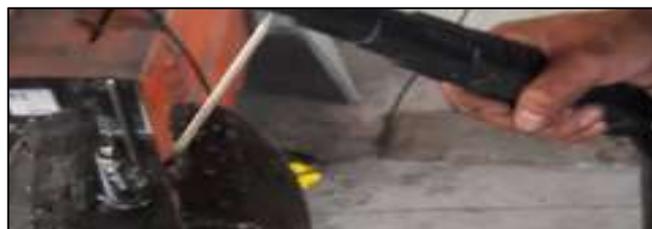


Figura 34-3. Soldadura de dispositivo de sujeción.

Realizado por: (Autores).

3.7.3.2 Implementación del motor eléctrico

Tomando en cuenta el número de radios que tiene la manzana del motor eléctrico como anteriormente se ha mencionado se procedió acoplar el mismo a una aro de rin 20 pulgadas con 36 agujeros, el motor se acopla mediante radios semireforzados de bicicleta, igualmente se incorporara la cámara de aire, el neumático.



Figura 35-3. Acople del motor eléctrico con aro.

Realizado por: (Autores).

3.7.3.3 Implementación del sistema de freno

Posteriormente implementado el motor, instalamos el disco de freno en la parte frontal del motor, las mordazas son instaladas en las bases correspondientes y colocamos los cables de accionamiento en sus respectivas palancas de freno.



Figura 36-3. Implementación del sistema de freno.

Realizado por: (Autores).

3.7.4 Pintado del sistema

Antes de pintar se procede a eliminar toda rebaba de soldadura si como posible restos de pintura anterior mediante el uso de un disco de pulir y lija fina; igualmente se procede a aplicar una base y finalmente la pintura final.



Figura 37-3. Pintado del prototipo.

Realizado por: (Autores).

3.7.5 Acoplamiento del sistema propulsor

3.7.5.1 Acoplamiento de la estructura superior con la estructura inferior.

Se colocó el juego de pistas tanto en la parte superior e inferior donde ambas estructuras están en contacto, esto con el objetivo de que se tenga mejor la maniobrabilidad de giro del prototipo.

3.7.5.2 Instalación de la dirección

Colocamos la espiga de dirección en el tubo de la estructura inferior, centramos la espiga de dirección con respecto a la rueda, de tal forma que ambas estén en la misma dirección.



Figura 38-3. Instalación de la espiga de dirección.

Realizado por: (Autores).

Finalmente colocamos el volante en la base de la espiga de dirección, obteniendo la estructura principal.



Figura 39-3. Instalación de manubrio.

Realizado por: (Autores).

3.7.5.3 Acoplamiento del acople central y estructura principal.

Ensamblamos el acople central mediante la unión de la base del mismo con las dos bases de la estructura principal, las dos estructuras serán unidas mediante un perno $\frac{1}{2}$ in.



Figura 40-3. Unión de acople central y estructura superior.

Realizado por: (Autores).

3.7.6 Instalación del módulo eléctrico

3.7.6.1 Instalación de controlador

Conectamos cada una de las entradas a los conectores correspondientes, teniendo en cuenta la forma de los conectores y los colores de los cables, posteriormente se ingresará en la bolsa para proteger de factores climáticos como la lluvia.



Figura 41-3. Instalación de controlador.

Realizado por: (Autores).

3.7.6.2 *Instalación dispositivos de control*

Finalmente, conectados los dispositivos de control (frenos, acelerador de gatillo y regulador de velocidad) al controlador instalamos los mismos en el manubrio de dirección para que el usuario pueda manipularlos fácilmente.



Figura 42-3. Instalación de dispositivos de controlador.

Realizado por: (Autores).

3.7.6.3 *Instalación de la batería*

Instalamos la base de la batería en los pernos que se soldaron en la estructura superior, Posteriormente colocamos la batería instalamos el correspondiente cable a la entrada de la batería.



Figura 43-3. Instalación de la base y la batería.

Realizado por: (Autores).

3.7.7 *Acoplamiento de la base de sujeción a la silla de ruedas*

3.7.7.1 *Instalación de la base de sujeción*

Después de determinar el lugar de instalación, se procede a instalar los dos soportes, los mismo deben ubicarse frente a frente.



Figura 44-3. Instalación de soportes de sujeción.

Realizado por: (Autores).

Posteriormente introducimos las barras de sujeción en la estructura, las mismas deberán ingresar totalmente para no estorbar al momento de colocar la estructura en los soportes.

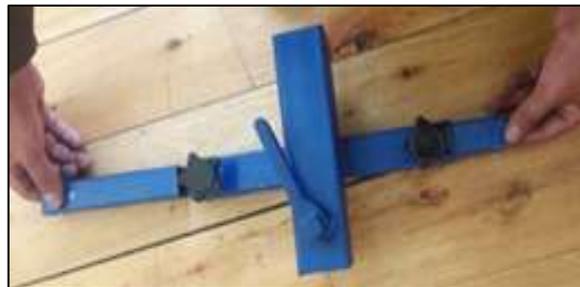


Figura 45-3. Instalación las barras de sujeción.

Realizado por: (Autores).

Finalmente colocamos la estructura con las barras en su interior entre los soportes, acoplando las barras en los extremos de los soportes asegurando mediante pernos, centrando la base central con respecto a la estructura de la silla de ruedas, ajustamos las barras mediante las manillas de ajuste.



Figura 46-3. Instalación de base de sujeción.

Realizado por: (Autores).

3.7.8 Acoplamiento del prototipo a la silla de ruedas

3.7.8.1 Acoplamiento del acople central con la base de sujeción

Se acopla el extremo cuadrado del acople central a la entrada superior de la base de sujeción, sujetando los mismos con la manilla de ajuste.



Figura 47-3. Instalación de base de sujeción.

Realizado por: (Autores).

3.7.8.2 Levantamiento de las ruedas delanteras.

Finalmente, acoplado la base de sujeción con el acople central se acciona la palanca del dispositivo de sujeción, posteriormente se impulsa el manubrio levantando las ruedas delanteras, se suelta la palanca y el dispositivo de sujeción acoplará el sistema.



Figura 48-3. Levantamiento de ruedas delanteras.

Realizado por: (Autores).

3.8 Pruebas de funcionamiento



Figura 49-3. Prototipo en funcionamiento.

Realizado por: (Autores).

Para realizar las pruebas que validen el funcionamiento correcto del prototipo se tomaran en cuenta distintos parámetros como el peso del usuario, la ruta y como responden los diferentes sistemas en funcionamiento.

Para lo cual se ha propuesto la realización de las siguientes pruebas:

- Autonomía de batería
- Velocidad y aceleración
- Costo de operación

3.8.1 *Autonomía de batería*

Para la autonomía de la batería de 324 Wh se calculó bajo las siguientes condiciones: 105 kg de peso total, trayecto en superficie plana, sin viento y velocidad aproximada de 15 km/h.



Figura 50-3. Trayecto para prueba.

Realizado por: (Autores).



Figura 51-3. Pendiente del trayecto de prueba.

Realizado por: (Autores).

El trayecto seleccionado es una ruta de 50m, de una superficie plana, de asfalto común de la ciudad, con una pendiente nula, después de concluir la prueba respectiva obtenemos los siguientes resultados:

Tiempo máximo de funcionamiento con carga de la batería al 100%: 2 h 12 min

Distancia recorrida: 20.8 Km

En el transcurso de la prueba no hubo interrupciones considerables que detuvieran el recorrido del prototipo, debido a que el trayecto era en un lugar cerrado, la velocidad se mantuvo en 15 km/h y se disminuyó al momento del giro, la distancia recorrida es de 20.8 km es inferior a la autonomía teórica de 23.14 km.

3.8.2 *Velocidad y aceleración*

Para determinar dichos valores se ha tomado en cuenta un peso total de 115 kg en el cual incluye el peso del prototipo, la silla de ruedas y el usuario, también se tomó en cuenta la batería a carga completa, la presión adecuada del neumático en una superficie plana.

Para calcular la velocidad promedio del prototipo usaremos la siguiente formula:

$$v = \frac{d}{t} \text{ Ecuación (13-3)}$$

Donde:

$v = \text{velocidad [m/s]}$

$d = \text{distancia [m]}$

$t = \text{tiempo [s]}$

Se planteó un trayecto de 50 m y se determinó los siguientes tiempos.

Tabla 10-3: Prueba de velocidad y aceleración.

Numero	Tiempo [s]
1	8.96
2	11.20
3	9.44
4	8.62
5	9.30

Fuente: Autores, 2020.

Realizado por: Autores, 2020.

De la tabla anterior obtenemos un tiempo promedio de 9.504 s, aplicando la ecuación 13-3 una velocidad promedio de $v = 5.26 [m/s] = 18.93 [km/h]$

La velocidad máxima que puede alcanzar el prototipo es de 18.93 km/h, la misma es inferior a los 20 km/h por lo que no representa peligro para el usuario.

Para determina la aceleración mediante la siguiente formula:

$$a = \frac{vf - v_0}{t} \quad \text{Ecuación (14-3)}$$

Donde:

$$a = \text{aceleracion} \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

$$vf = \text{velocidad final} \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$v_0 = \text{velocidad inicial} \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$t = \text{tiempo} [s]$$

Sustituyendo los valores ya conocido tenemos:

$$a = \frac{5.26 \frac{m}{s} - 0}{9.504 s} = 0.55 \frac{m}{s^2}$$

3.8.3 Costo de operación

Para el cálculo de costo de operación del prototipo tomaremos en cuenta el número de ciclos promedio de vida útil de una batería eléctrica que se usa en el prototipo, para el caso el ciclo de vida útil es de 500 ciclos, donde la bacteria tiene su máxima capacidad de almacenamiento. La

batería empleara un cargador de 100V, 2A lo cual permitirá la carga en 4.5horas conociendo estos datos procedemos a calcular el consumo:

Calculamos la potencia con la siguiente ecuación:

$$P = V * I \quad \text{Ecuación (15-3)}$$

Donde:

$$P = \text{Potencia [W]}$$

$$V = \text{Voltaje [V]}$$

$$I = \text{Intensidad [A]}$$

$$P = 100V * 2A = 200W$$

Ya calculado la potencia, se procederá en el cálculo de la energía mediante la siguiente ecuación:

$$E = P * t \quad \text{Ecuación (16-3)}$$

Donde:

$$E = \text{Energía [Wh]}$$

$$P = \text{Potencia [W]}$$

$$t = \text{tiempo [h]}$$

$$E = 200W * 4.5h = 0.9KWh$$

Asumiendo que se realice una carga diaria del 100% de la capacidad de la batería tendrá un consumo diario de 0.9KWh, un mensual aproximado de 27KWh. Para calcular el costo del consumo eléctrico del prototipo tendremos que tomar en cuenta el costo de KWh en Ecuador, para lo cual tomaremos los valores proporcionados por ARCONEL.

Tabla 11-3: Pliego tarifario 2019 Ecuador.

Rango de consumo	Energía [USD/KWh]
1-50	0.091
51-100	0.093
101-150	0.095
151-200	0.097

Fuente: ARCONEL, 2019.

Realizado por: Autores, 2020.

En base a la tabla 11-3 de cargos tarifarios correspondiente al periodo enero-diciembre 2019, el consumo mensual de energía es de USD2.43, y un costo anual de USD29.16.

Sin embargo por el “Subsidio de la Tarifa de la Dignidad”, que dispone que los consumidores del sector residencial cuyo consume sea inferior a 110 kWh-mes el costo será de USD 0.04 por kWh con el objetivo de favorecer a los sectores de bajos recursos económicos. (ARCONEL, 2019)

Si el consumo mensual del usuario del prototipo está dentro del subsidio denominado Tarifa de la dignidad el consumo mensual en energía es de USD 1.08, y un costo anual de USD 12.96.

CAPITULO IV

4. GESTIÓN DEL PROYECTO

4.1 Cronograma

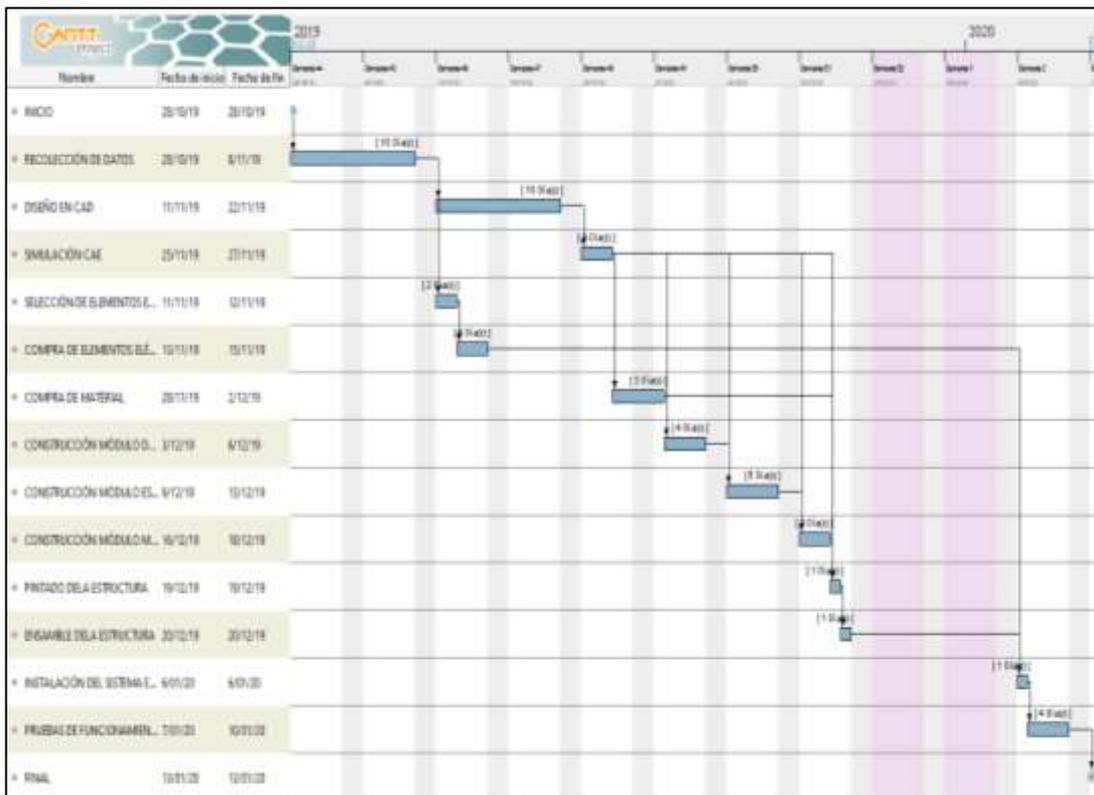


Gráfico 1-4. Cronograma del proyecto.

Realizado por: (Autores).

4.2 Presupuesto

Para el diseño y construcción del prototipo intervino distintos elementos tales como materiales transporte, entre otros valores los cuales tuvieron un valor monetario que influyen en el presupuesto final del prototipo.

4.2.1 *Materiales*

Para la construcción del prototipo se utilizó distintos materiales y componentes disponibles en el mercado nacional, todos los materiales utilizados se describen a continuación:

Tabla 1-4: Costos de materiales.

COSTOS DE MATERIALES			
Elemento	Cantidad	Costo unitario [USD]	Costo total [USD]
Motor Brushless 36v 350w	1	250.00	250.00
Batería Ion Litio 36v 9ah	1	350.00	350.00
Controlador 36v 15A	1	50.00	50.00
Acelerador eléctrico	1	15.00	15.00
Freno eléctrico	2	15.00	30.00
Aro bicicleta Rin 20	1	10.00	10
Radios 36x9cm	36	0.15	5.40
Neumático Rin 20	1	8.00	8.00
Cámara de aire Rin 20	1	2.50	2.50
Horquilla tipo BMX	1	10.00	10.00
Disco de freno	1	15.00	15.00
Mordazas de freno Luxe F160/R140	2	10.00	20.00
Espiga de dirección GT	3	5.50	16.50
Manubrio dos alturas	1	7.50	7.50
Planchas de Acero ASTM A36	---	15	15.00
Tubos cuadrado estructural de Acero ASTM A36	---	25	25.00
Tubos redondo estructural de Acero ASTM A36	---	10	50.00
Manillas	2	1.00	2.00
Tornillos y rodelas	---		5.00
Resorte	1	2.00	2.00
Electrodos (6011)	2 lb	2.00	4.00
Pintura base	¼ litro	5.00	1.25
Pintura (Azul, negro)	½ litro	9.00	4.50
Thinner	1 litro	1.00	1.00
Lijas para acero	2	0.50	1.00
Brocas para acero	---		20.00
Disco de corte	3	1.50	4.50
Disco de pulido	1	1.25	1.25
TOTAL			886.40

Fuente: Autores, 2020.

Realizado por: Autores, 2020.

4.2.2 Mano de obra

Tabla 2-4: Costos de mano de obra.

COSTOS MANO DE OBRA			
Técnico	No. Horas	Costo unitario [USD]	Costo total [USD]
Técnico mecánico	20	5.00	100.00
Técnico soldador	5	10.00	50.00
Técnico tornero	0.5	5.00	2.50
Técnico en pintura	2	5.00	10.00
Total			162.50

Fuente: Autores, 2020.

Realizado por: Autores, 2020.

4.2.3 Equipos

Tabla 3-4: Costos de alquiler de equipos.

COSTOS DE ALQUILER DE EQUIPOS			
Equipo	No. Horas	Costo unitario [USD]	Costo total [USD]
Amoladora	20	2.50	50.00
Taladro de columna	2	3.00	6.00
Soldadora eléctrica	1	5.00	5.00
Torno	0.5	5.00	2.50
Compresor	2	3.00	6.00
Total			69.50

Fuente: Autores, 2020.

Realizado por: Autores, 2020.

4.2.4 Costos indirectos

Dichos costos se refieren a los costos que no interactúan directamente en la finalización del prototipo.

Tabla 4-1: Costos indirectos.

COSTOS INDIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Costo unitario [USD]	Costo total [USD]

Continua

Continua

Transporte	1	50.00	50.00
Impresión y copias	1	40.00	40.00
Imprevistos	1	10.00	10.00
Otros gastos	1	20.00	20.00
Total			120.00

Fuente: Autores, 2020.

Realizado por: Autores, 2020.

4.2.5 Costo total del proyecto

Es la suma total entre los costos anteriormente descritos, los cuales se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 5-4: Costo total del proyecto.

COSTO TOTAL DEL PROYECTO	
Descripción	[USD]
COSTOS DE MATERIALES	886.40
COSTOS DE ALQUILER DE EQUIPOS	69.50
COSTOS MANO DE OBRA	162.50
COSTO TOTAL INDIRECTO	120.00
COSTO TOTAL	1238.40

Fuente: Autores, 2020.

Realizado por: Autores, 2020.

CONCLUSIONES

Se revisó el estado del arte de dispositivos de sujeción motorizados, los sistemas de acoples existentes y el marco legal que sustenta la investigación, mediante la investigación bibliográfica y la recopilación de datos para el posterior diseño y construcción del prototipo.

La estructura del prototipo se diseñó en el software SOLIDWORKS, para lo cual se partió de un diseño previo en función a los requerimientos anteriormente recopilados, para lo cual se centró en reducir procesos de manufactura, así como a utilización de equipos comúnmente usados en la industria nacional.

El prototipo se validó mediante la simulación en el software de simulación CAE para lo cual se utilizaron parámetros de funcionamiento reales a los que el prototipo deberá estar expuesto, lo cual demostró que factor de seguridad de la estructura está dentro de los valores que garantiza la fiabilidad y seguridad.

La estructura se construyó con material de Acero ASTM A36 debido a que dicho material tiene características mecánicas favorables y su costo es relativamente menor a comparación de otros materiales, así como es de fácil adquisición a nivel nacional, los demás elementos son estandarizados por lo cual en caso de daño se pueden adquirir fácilmente en distribuidoras de elementos de ciclismo.

Se realizó distintas pruebas para validar el funcionamiento del prototipo, entre las cuales se comprobó la velocidad que puede alcanzar el prototipo es de 18.93 km/h, el prototipo es capaz de desplazarse en diferentes superficies siempre y cuando no exista exceso de material desprendido así como situaciones que comprometan a pérdida de tracción, frenado o dirección, por el lado de la autonomía de desplazamiento el prototipo es capaz de recorrer 20.8 km con la carga completa de la batería, el consumo del mismo representa un costo anual de USD 29.16 o USD 12.96 si se es beneficiario del subsidio eléctrico, por lo cual representa un ahorro en el costo de desplazamiento del usuario de silla de ruedas.

RECOMENDACIONES

El usuario debe seguir el manual de usuario para el acoplamiento del prototipo, así como reconocer los diferentes elementos de control y su funcionamiento para evitar posibles asientos o daños por falta de conocimiento en el momento de la manipulación.

Se recomienda que el usuario NO circule por pendientes sumamente pronunciadas debido a que el motor no está diseñado para estas y podría fallar.

El usuario debe respetar las normas de tránsito, no debe realizar giros bruscos altas velocidades, no sobrepasar el peso establecido para preservar la integridad del usuario.

Para proyectos futuros se la importación del Kit de Conversión, debido a que a nivel nacional es muy difícil encontrarlos, así como la implementación de materiales más ligeros para disminuir el peso del prototipo por ende el consumo eléctrico.

BIBLIOGRAFÍA

ADAPTADO. *Nuevo Alber e-fix de Invacare.* [en línea], 2015 . [Consulta: 12 enero 2020]. Disponible en: <http://www.adaptado.es/nuevo-alber-e-fix-de-invacare/>

ALEGSA. *Definición de Batería (eléctrica).* [en línea], 2018 . [Consulta: 12 enero 2020]. Disponible en: <http://www.alegsa.com.ar/Dic/bateria.php>

ARCONEL. *Ecuador posee un 51,78% de energía renovable.* [en línea], Quito-Ecuador: 2015. [Consulta: 12 enero 2020]. Disponible en: <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/ecuador-posee-un-5155-de-energia-renovable/>

ARCONEL. *Tarifa Dignidad – Arconel.* [en línea], Quito-Ecuador: 2019. [Consulta: 15 enero 2020]. Disponible en: <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/tarifa-dignidad/>

ASAMBLEA NACIONAL DE ECUADOR. *Ley orgánica de discapacidades.* [en línea], Quito-Ecuador: 2017. pp.8. [Consulta: 12 enero 2020]. Disponible en: http://progressservices.com.ec/wp-content/uploads/2017/11/Decreto_194.pdf

ASPACE. *Causas y tipos. Aspace Clm.* [en línea], Toledo-España: 2019. [Consulta: 12 enero 2020]. Disponible en: <http://aspaceclm.org/que-es-paralisis-cerebral/causas-y-tipos/>

BATEC, M. *Batec quad electric 2, the perfect balance.* [en línea], Barcelona-España: 2018. [Consulta: 12 enero 2020]. Disponible en: <https://batecmobility.com/en/products/handbikes/batec-quad-electric-2>

BECERRIL, J. *Diseño de etapa de potencia y control para un motor brushless de CD con frenado regenerativo.* [en línea], Ciudad de México-México: 2014. [Consulta: 12 enero 2020]. Disponible en: <http://132.248.52.100:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/3489/Tesis.pdf?sequence=1>

BIDEA. *Diferentes tipos de sillas de ruedas para discapacitados.* [en línea], Gipuzkoa-España: 2014. [Consulta: 12 enero 2020]. Disponible en: <https://www.bidea.es/noticias/diferentes-tipos-de-sillas-de-ruedas-para-discapacitados/>

BIKELEC. *Controlador. Bicicletas Eléctricas.* [en línea], León-España: 2015. [Consulta: 12 enero 2020]. Disponible en: <https://www.bikelec.es/blog/controlador/>

CASTILLERO, O. *Tipos de discapacidad física (y características).* [en línea], Barcelona-España: 2017. [Consulta: 12 enero 2020]. Disponible en: <https://psicologiyamente.com/salud/tipos-de-discapacidad-fisica>

CELAC. *Ecuador: Programa Misión Solidaria Manuela Espejo.* [en línea], 2012. [Consulta: 12 enero 2020]. Disponible en: <https://plataformacelac.org/en/programa/43>

CONADIS. *Estadísticas de Discapacidad.* [en línea], Quito-Ecuador: 2019. [Consulta: 12 enero 2020]. Disponible en: <https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadisticas-de-discapacidad/>

ELÉCTRICOS, H. *La bicicleta eléctrica. Híbridos y Eléctricos* [en línea], Barcelona-España: 2013. [Consulta: 12 enero 2020]. Disponible en: <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/bicicletas-electrica/la-bicicleta-electrica/20130403132157005368.html>

GORGUES, J. *Selección y adaptación de sillas de ruedas convencionales.* Offarm, 2005, vol. 24, no. 8, pp. 148-152. ISSN 0212-047X.

LARMINIE, J. y LOWRY, J. *Electric Vehicles and the Environment. Electric Vehicle Technology Explained.* [en línea]. S.l.: John Wiley&Sons, Ltd, pp. 245-260. [Consulta: 12 enero 2020]. ISBN 978-0-470-09070-1. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/0470090707.ch10>

MORALES, A. Motorización independiente de una silla de ruedas. [en línea], Barcelona-España: 2015. pp.34. [Consulta: 12 enero 2020]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/83291/Mem%C3%B2ria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

MUNDO DEPENDENCIA. *Motor u-drive para silla de ruedas manual con joystick.* [en línea], Madrid-España: 2018. [Consulta: 12 enero 2020]. Disponible en: <https://mundodependencia.com/motor-u-drive-para-silla-de-ruedas-manual-con-joystick/>

NICHESE. *Tipos de motores para bicicletas eléctricas.* [en línea], 2018 . [Consulta: 12 enero 2020]. Disponible en: <http://vehiculoselectricos.nichese.com/motorbicicleta.html>

PONCE, I. *Ciudades discapacitantes.* [en línea], Quito-Ecuador: 2018. [Consulta: 12 enero 2020]. Disponible en: <https://gk.city/2018/12/03/personas-con-discapacidad-ecuador-obstaculos/>

RIBERA SALUD GRUPO. *Uso y recomendaciones sobre silla de ruedas.* [en línea], Valencia-España: 2018. [Consulta: 12 enero 2020]. Disponible en: <https://www.torre vieja-salud.com/wp-content/uploads/2018/10/EDUCA-Silla-de-ruedas.pdf>

TUCANOBIKES. *Las baterías.* [en línea], Barcelona-Español: 2011. [Consulta: 12 enero 2020]. Disponible en: https://www.tucanobikes.com/las_baterias_de_las_bicicletas_electricas_tucano.ws

VALVERMONT. *Todo sobre las bicicletas eléctricas: tipos, motores, piezas, recomendaciones, etc. Medioambiente y Naturaleza.* [en línea], 2015. [Consulta: 12 enero 2020]. Disponible en: <https://medioambienteynaturaleza.com/consideraciones-y-tipos-de-bicicletas-electricas/>

VARGAS, W. *Diseño y construcción del sistema de propulsión de un triciclo monoplaza eléctrico para personas con discapacidad en sus extremidades inferiores.* [en línea], Latacunga-Ecuador: 2015. pp34. [Consulta: 12 enero 2020]. Disponible en: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/10602/1/T-ESPEL-MAI-0533.pdf>

VICEPRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR. *Misión “manuela espejo” entrega este año 216.285 ayudas técnicas a 85.891 personas con discapacidad en siete provincias.* [en línea], Quito-Ecuador: 2012. [Consulta: 12 enero 2020]. Disponible en: <https://www.vicepresidencia.gob.ec/mision-manuela-espejo-entrega-este-ano-216-285-ayudas-tecnicas-a-85-891-personas-con-discapacidad-en-siete-provincias/>

WEG. *Motores Eléctricos Guía de Especificación.* [en línea], Santa Catarina-Brasil: 2015. [Consulta: 12 enero 2020]. Disponible en: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h6e/h82/WEG-motores-electricos-guia-de-especificacion-50039910-brochure-spanish-web.pdf>