



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE
PROPULSIÓN ANCLABLE A UNA SILLA DE RUEDAS PARA
TRASLADO AUTÓNOMO DE PERSONAS PARAPLÉJICAS EN
ZONAS URBANAS.”**

QUINATO AIGAJE EDISON JOEL

VELOZ VIZUETE BRYAN ALDEMAR

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROPUESTA TECNOLÓGICA

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

**Riobamba – Ecuador
2019**

ESPOCH

Facultad de Mecánica

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

2018-10-23

Yo recomiendo que el trabajo de titulación preparado por:

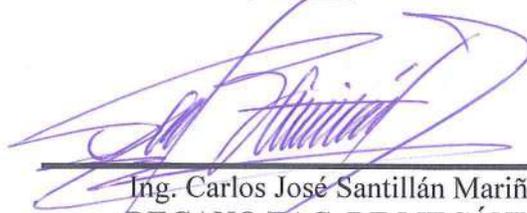
QUINATO AIGAJE EDISON JOEL

Titulado:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE PROPULSIÓN
ANCLABLE A UNA SILLA DE RUEDAS PARA TRASLADO AUTÓNOMO
DE PERSONAS PARAPLÉJICAS EN ZONAS URBANAS.”**

Sea aceptada como total complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ



Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:



Ing. Víctor David Bravo Morocho
DIRECTOR TRABAJO DE TITULACIÓN



Ing. Edgar Fabián Sánchez Carrión
MIEMBRO TRABAJO DE TITULACIÓN

ESPOCH

Facultad de Mecánica

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

2018-10-23

Yo recomiendo que el trabajo de titulación preparado por:

VELOZ VIZUETE BRYAN ALDEMAR

Titulado:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE PROPULSIÓN
ANCLABLE A UNA SILLA DE RUEDAS PARA TRASLADO AUTÓNOMO
DE PERSONAS PARAPLÉJICAS EN ZONAS URBANAS.”**

Sea aceptada como total complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Víctor David Bravo Morocho
DIRECTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

Ing. Edgar Fabián Sánchez Carrión
MIEMBRO TRABAJO DE TITULACIÓN

ESPOCH

Facultad de Mecánica

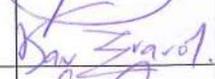
EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: QUINATO A AIGAJE EDISON JOEL

TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE PROPULSIÓN ANCLABLE A UNA SILLA DE RUEDAS PARA TRASLADO AUTÓNOMO DE PERSONAS PARAPLÉJICAS EN ZONAS URBANAS.”

Fecha de Examinación: 2019-06-27

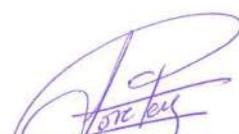
RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. José Francisco Pérez Fiallos PRESIDENTE TRIB. DEFENSA	✓		
Ing. Víctor David Bravo Morocho DIRECTOR	✓		
Ing. Edgar Fabián Sánchez Carrión MIEMBRO	✓		

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.


Ing. José Francisco Pérez Fiallos
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

ESPOCH

Facultad de Mecánica

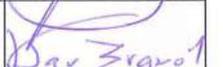
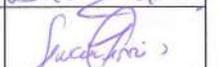
EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: VELOZ VIZUETE BRYAN ALDEMAR

TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE PROPULSIÓN ANCLABLE A UNA SILLA DE RUEDAS PARA TRASLADO AUTÓNOMO DE PERSONAS PARAPLÉJICAS EN ZONAS URBANAS.”

Fecha de Examinación: 2019-06-27

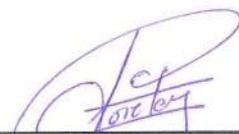
RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. José Francisco Pérez Fiallos PRESIDENTE TRIB. DEFENSA	✓		
Ing. Víctor David Bravo Morocho DIRECTOR	✓		
Ing. Edgar Fabián Sánchez Carrión MIEMBRO	✓		

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.


Ing. José Francisco Pérez Fiallos
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de titulación denominado “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE PROPULSIÓN ANCLABLE A UNA SILLA DE RUEDAS PARA TRASLADO AUTÓNOMO DE PERSONAS PARAPLÉJICAS EN ZONAS URBANAS.**” que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación técnica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.



Quinatoa Aigaje Edison Joel

Cédula de Identidad: 150109827-9



Veloz Vizquete Bryan Aldemar

Cédula de Identidad: 150126106-7

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Quinatoa Aigaje Edison Joel y Veloz Vizuite Bryan Aldemar, declaramos bajo juramento que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes 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.



Quinatoa Aigaje Edison Joel

Cédula de Identidad: 150109827-9



Veloz Vizuite Bryan Aldemar

Cédula de Identidad: 150126106-7

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación va dedicado a Dios quien ha sido mi guía en el transcurso de mi carrera universitaria, brindándome la fortaleza necesaria para alcanzar mis metas trazadas, a mis padres quienes con su paciencia y esfuerzo me han permitido alcanzar hoy uno de mis sueños más anhelados y por último a mis hermanos que estuvieron conmigo en todo momento transmitiéndome su cariño y apoyo incondicional.

Veloz Vizuite Bryan Aldemar

Dedico este triunfo a Dios, por ser mi guía quien con su bendición siempre llena mi vida y acompañarme en el transcurso de mi vida, dándome paciencia y sabiduría para poder llegar a concretar mis metas propuestas.

A mis padres por ser mi pilar fundamental y darme ese apoyo incondicionalmente en todo momento, por los valores que me han inculcado y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida.

Quinatoa Aigaje Edison Joel

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi gratitud a Dios por todas sus bendiciones durante el transcurso de mi vida y por ser una luz en todo momento, de igual forma quiero agradecer a mis padres quienes con su sacrificio y esfuerzo me han apoyado para alcanzar mis metas, a mis hermanos que estuvieron a mi lado en todo momento y por último, a la ESPOCH y a sus docentes, que me ayudaron a crecer como persona a través de sus enseñanzas y consejos.

Veloz Vizuete Bryan Aldemar

Agradezco a Dios por darme la vida, por su protección en momentos buenos y malos, por guiarme de la mano en el camino correcto y, sobre todo, esto fue posible gracias a su maravilloso amor y cuidado que me tiene.

A mis padres y hermana, quienes han sido aporte esencial en cada etapa de mi vida, quienes siempre me brindaron su apoyo, especialmente durante este proceso y con ello cumplir con el sueño tan anhelado.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y sus docentes, por haberme abierto las puertas, para brindarme su conocimiento y su apoyo.

Quinatoa Aigaje Edison Joel

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

	Pág.
CAPÍTULO I	1
1. MARCO REFERENCIAL	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Justificación.....	2
1.3.1. <i>Justificación Teórica</i>	2
1.3.2. <i>Justificación Metodológica</i>	3
1.3.3. <i>Justificación Práctica</i>	3
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. <i>Objetivo general</i>	4
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	4
CAPÍTULO II	5
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Transporte de personas con discapacidad física.....	5
2.2. Sillas de ruedas.....	5
2.2.1. <i>Silla de ruedas para uso temporal</i>	6
2.2.2. <i>Silla de ruedas para uso permanente</i>	6
2.3. Sillas de ruedas propulsadas.....	7
2.3.1. <i>Accionados por acompañante</i>	7
2.3.2. <i>Accionados por el usuario</i>	7
2.4. Motor eléctrico.....	8
2.4.1. <i>Motor Trifásico</i>	9
2.4.2. <i>Aplicaciones de los motores eléctricos trifásicos</i>	9

2.5.	Batería.....	10
2.5.1.	<i>Baterías de litio.</i>	10
2.6.	Controlador.....	11
2.6.1.	<i>Corte por baja tensión.</i>	11
2.6.2.	<i>Sobrettemperatura en el controlador.</i>	11
2.6.3.	<i>Ventajas de un controlador:</i>	12
2.7.	Acelerador.....	12
2.7.1.	<i>Acelerador de puño.</i>	12
2.8.	Materiales para la construcción de la estructura.	13
2.8.1.	<i>El acero</i>	13
2.8.2.	<i>Aceros inoxidables.</i>	13
2.8.3.	<i>Acero estructural.</i>	13
2.8.4.	<i>Aluminio</i>	13
2.8.5.	<i>Láminas de acero estructural ASTM A36 de 4mm de espesor.</i>	14
2.9.	Procesos de soldadura.	14
2.9.1.	<i>Soldadura por arco de tungsteno y gas.</i>	14
2.9.2.	<i>Los electrodos.</i>	15
2.9.3.	<i>Material de aportación.</i>	15
2.10.	Sistema de diseño, manufactura e ingeniería asistido por computador.....	16
2.10.1.	<i>Sistema CAD (Diseño Asistido por Computador).</i>	16
2.10.2.	<i>Sistema CAM (Manufactura Asistida por Computador).</i>	16
2.10.3.	<i>Sistema CAE (Ingeniería Asistida por Computador).</i>	16
CAPÍTULO III		18
3.	DISEÑO DEL SISTEMA DE PROPULSIÓN	18
3.1.	Diagrama de procesos para el diseño y construcción del prototipo.	18
3.2.	Parámetros de diseño.....	20
3.3.	Fuerzas que actúan sobre el sistema de propulsión en la ruta de mayor pendiente. 23	
3.4.	Cálculo de la potencia necesaria y selección de motor.	28
3.5.	Selección del motor.....	30

3.6.	Parámetros para la selección del controlador.....	31
3.6.1.	<i>Especificaciones del controlador seleccionado.....</i>	32
3.7.	Selección de batería.....	33
3.7.1.	<i>Cálculo del tiempo de carga de cada batería.....</i>	35
3.7.2.	<i>Cálculo de la autonomía de la batería.....</i>	36
3.8.	Selección de materiales para la construcción de la estructura.....	36
3.8.1.	<i>Selección de alternativas de materiales.....</i>	36
3.8.2.	<i>Criterios de evaluación.....</i>	37
3.8.3.	<i>Matriz de selección.....</i>	37
3.9.	Análisis de componentes.....	38
3.10.	Análisis de la carga aplicada en el eje del motor.....	39
3.11.	Construcción del sistema de propulsión.....	46
3.11.1.	<i>Implementación del motor.....</i>	46
3.11.2.	<i>Construcción de la estructura.....</i>	47
3.11.3.	<i>Construcción de la dirección.....</i>	48
3.11.4.	<i>Sistema de frenos.....</i>	52
3.11.5.	<i>Caja para el controlador y la batería.....</i>	53
3.11.6.	<i>Proceso de elaboración de los codos de ajuste.....</i>	55
3.11.7.	<i>Brazos de regulación.....</i>	56
3.11.8.	<i>Mecanismo de sujeción.....</i>	56
3.11.9.	<i>Abrazadera de ajuste.....</i>	58
3.11.10.	<i>Pintado y ensamblado del sistema propulsor.....</i>	59
3.11.11.	<i>Acoplamiento del sistema a la silla de ruedas.....</i>	59
3.12.	Pruebas de funcionamiento.....	60
CAPÍTULO IV.....		63
4	COSTOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO.....	63
4.1.	Costos directos.....	63
4.2.	Costos indirectos.....	65
4.3.	Costos totales.....	65

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	66
Conclusiones.....	66
Recomendaciones.....	67

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1-3: Porcentajes de pendientes y grados de pendientes.....	22
Tabla 2-3: Peso del sistema propulsor.	25
Tabla 3-3: Parámetros requeridos para la selección del motor eléctrico.....	29
Tabla 4-3: Modelo y características de los motores.....	30
Tabla 5-3: Características del motor eléctrico.....	31
Tabla 6-3: Especificaciones para controladores de motores Brushless.....	32
Tabla 7-3: Parámetros y especificaciones del controlador seleccionado.	32
Tabla 8-3: Especificaciones de la batería.	35
Tabla 9-3: Alternativas para la selección de materiales, propiedades mecánicas	37
Tabla 10-3: Matriz de selección de materiales para la estructura.	38
Tabla 11-3: Dimensiones del sistema de propulsión.....	39
Tabla 12-3: Tiempos al recorrer 20 m de distancia.....	61
Tabla 1-4: Costo del sistema motriz.....	63
Tabla 2-4: Costo de fabricación del sistema anclable y pivote.	63
Tabla 3-4: Costo del sistema de dirección.	64
Tabla 4-4: Costo de alquiler de equipos.....	64
Tabla 5-4: Costos de mano de obra.....	64
Tabla 6-4: Costos de indirectos.....	65
Tabla 7-4: Costos de total de fabricación del sistema propulsor anclable.	65

ÍNDICE DE GRÁFICA

	Pág.
Gráfico 1-2: Curva característica de un motor trifásico.....	9
Gráfico 1-3: Pendiente máxima en la ruta.....	22
Gráfico 2-3: Fuerza de tracción de acuerdo a la pendiente.	26
Gráfico 3-3 Gráfica de velocidad del par del motor vs características de un motor.	27
Gráfico 4-3: Comportamiento del deslizamiento y corriente.....	34
Gráfico 5-3: Deformación total en el eje del motor.	40
Gráfico 6-3: Tensión equivalente (Von Mises) en el eje del motor.	41
Gráfico 7-3: Factor de seguridad en el eje del motor.	41
Gráfico 8-3: Deformación total en la estructura de acople a los brazos.....	43
Gráfico 9-3: Tensión equivalente (Von Mises) en la estructura de acople a los brazos.....	43
Gráfico 10-3: Factor de seguridad en la estructura de acople a los brazos.	44
Gráfico 11-3: Deformación total en el elemento de acople a la silla.	45
Gráfico 12-3: Tensión equivalente en el elemento de acople.	45
Gráfico 13-3: Factor de seguridad en el mecanismo de acople.....	46

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1-2: Movilidad de personas con discapacidad en la ciudad.....	5
Figura 2-2: Silla de ruedas para uso temporal.....	6
Figura 3-2: Silla de ruedas para uso permanente.....	6
Figura 4-2: Motorización accionada por acompañante.....	7
Figura 5-2: Motorización con manillar Batec.....	8
Figura 6-2: Silla de ruedas eléctrica.....	8
Figura 7-2: Proceso carga-descarga de una batería de litio.....	10
Figura 8-2: Controlador KEB.....	11
Figura 9-2: Acelerador de puño para bicicletas eléctricas.....	12
Figura 10-2: Soldadura por arco de tungsteno y gas.....	15
Figura 11-2: Modelado en software CAD.....	16
Figura 12-2: Modelos tridimensionales paramétricos.....	17
Figura 1-3: Vista isométrica del sistema de propulsión acoplado a una silla de ruedas.....	20
Figura 2-3: Ruta de prueba del sistema de propulsión.....	21
Figura 3-3: Ruta de mayor pendiente en la ESPOCH.....	21
Figura 4-3: Vista de la superficie del prototipo que entra en contacto con el viento.....	24
Figura 5-3: Controlador estándar para bicicletas eléctricas de 350W.....	33
Figura 6-3: Vista lateral del prototipo acoplado a una silla de riedas.....	38
Figura 7-3: Dimensiones del sistema de propulsión acoplada a la silla de ruedas.....	39
Figura 8-3: Carga aplicada sobre el eje del motor.....	39
Figura 9-3: Traslado de fuerzas.....	42
Figura 10-3: Diagrama de cuerpo en la estructura principal.....	42
Figura 11-3: Traslado de fuerzas a través de los brazos.....	44
Figura 12-3: Diagrama de cuerpo libre del traslado de la fuerza.....	44
Figura 13-3: Acople del motor eléctrico aro.....	47
Figura 14-3: Elemento para la construcción de la horquilla.....	47
Figura 15-3: Soldadura de la horquilla.....	48
Figura 16-3: Pulido de la estructura a manera de horquilla.....	48
Figura 17-3: Torneado del eje para soporte de la dirección.....	49
Figura 18-3: Soldadura de los soportes de la dirección.....	49
Figura 19-3: Estructura principal del sistema.....	50
Figura 20-3: Estructura en T para sujeción de los brazos del sistema.....	50
Figura 21-3: Soldeo de la estructura en T.....	51
Figura 22-3: Corte de los soportes para unir la estructura principal a la T.....	51

Figura 23-3:	Soldeo de los soportes.....	52
Figura 24-3:	Acople de la estructura principal de la rueda.....	52
Figura 25-3:	Adaptación de soporte para sujetar la mordaza de freno.....	53
Figura 26-3	Instalación del sistema de freno.....	53
Figura 27-3	Doblado y forma de la caja.....	54
Figura 28-3:	Instalación del controlador y la batería.....	54
Figura 29-3:	Soporte principal con la caja.....	55
Figura 30-3:	Doblado del tubo.....	55
Figura 31-3:	Colocación de los codos en la T.....	56
Figura 32-3:	Brazo de sujeción.....	56
Figura 33-3:	Diseño en CAD.....	57
Figura 34-3:	Despiece del mecanismo de sujeción.....	57
Figura 35-3:	Ensamble de mecanismo.....	58
Figura 36-3:	Colocación de las abrazaderas.....	58
Figura 37-3:	Instalación de la barra central.....	59
Figura 38-3:	Sistema de propulsión acoplado a la silla de ruedas.....	60
Figura 39-3:	Ensayos de campo.....	61

ANEXOS

- Anexo A.** Manual de operación.
- Anexo B.** Pruebas de campo.
- Anexo C.** Catálogo DIPAC de tubos estructurales redondos.

SIMBOLOGÍA

<i>Fr</i>	Fuerza de rozamiento.
<i>Ra</i>	Resistencia aerodinámica.
<i>Ur</i>	Coefficiente de fricción del hormigón.
<i>m</i>	Masa.
\emptyset	Ángulo de pendiente.
ρ	Densidad del aire en Riobamba.
<i>A</i>	Área frontal del sistema.
<i>Cx</i>	Coefficiente de arrastre.
<i>v</i>	Velocidad.
<i>Fy</i>	Peso en la pendiente.
<i>Fte</i>	Fuerza electromotriz total.
<i>Tr</i>	Torque requerido.
<i>R</i>	Radio del neumático.
ω	Velocidad angular.
<i>I.bat</i>	Capacidad específica de la batería.
<i>P.motor</i>	Potencia de motor.
<i>n.motor</i>	Eficiencia del motor.
<i>W_m</i>	Energía específica másica.
<i>T_{au}</i>	Autonomía de la batería en Km.
<i>V</i>	Voltaje de la batería
<i>I</i>	Amperaje de la batería.
<i>P</i>	Potencia de la batería.

RESUMEN

Se realizó el diseño y construcción de un sistema de propulsión anclable a una silla de ruedas para el traslado de personas parapléjicas en zonas urbanas, esta propuesta tecnológica se inició con investigación bibliográfica y recolección de la información con la finalidad de establecer los requisitos y los parámetros del prototipo como: potencia y torque. En función de estos parámetros se seleccionó un sistema de propulsión eléctrico que consta de un motor brushless de 350 Watts, batería de ion litio de 36 voltios 9 amperios y un controlador de 15 amperios. En la fase de diseño se escogió el acero A36 para el modelado del prototipo en software de diseño asistido por computador (CAD), posteriormente se realizó la simulación del sistema bajo condiciones preestablecidas y se alcanzaron resultados satisfactorios; los componentes están sometidos a esfuerzos por debajo de su límite elástico, donde su deformación es mínima y no afecta el funcionamiento del mismo, con el factor de seguridad obtenido se garantiza la fiabilidad del equipo. Determinada la fiabilidad del diseño se procedió a la construcción del prototipo por métodos de manufactura adecuados como: soldadura de gas inerte de tungsteno (TIG) para la unión de los diferentes elementos de la estructura y otros procesos como: corte, doblado. Finalmente se ensamblaron los componentes del sistema para realizar las pruebas de campo necesarias donde se concluyó que el prototipo cumple con los criterios establecidos anteriormente, ya que es capaz de propulsar una silla de ruedas con su ocupante en una ruta del 12% de pendiente con una velocidad de 5 km/h, mientras que en plano alcanza los 20 km/h; en cuanto a la autonomía el sistema recorre una distancia de 16 km a plena carga. Se recomienda para futuros diseños utilizar materiales más ligeros para facilitar su manipulación y reducir su consumo energético.

PALABRAS CLAVE: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE INGENIERÍA>, <SISTEMA DE PROPULSIÓN>, <AUTONOMÍA>, <DISEÑO DE PROTOTIPO>, <SIMULACIÓN>, <IMPLEMENTACIÓN DE PROTOTIPO>, <SILLA DE RUEDAS>, <FACTOR DE SEGURIDAD>.

ABSTRACT

The design and construction of a propulsion system anchorable to a wheelchair for the transfer of paraplegic people in urban areas was carried out, this technological proposal was initiated with bibliographical research and information gathering in order to establish the requirements and parameters of the prototype as: power and torque. Based on these parameters, an electric propulsion system consisting of a brushless motor with 350 Watts, a 36-volt 9-amp lithium-ion battery and a 15-amp driver was selected. In the design phase, the A36 steel was chosen for the modeling of the prototype in a computer-aided design software (CAD), then the simulation of the system was carried out under pre-established conditions and satisfactory results were achieved; the components are subjected to stresses below their elastic limit, where their deformation is minimal and does not affect the operation thereof, with the safety factor obtained, the reliability of the equipment is guaranteed. Once the reliability of the design was determined, the prototype was built by suitable manufacturing methods such as tuning of inert gas from tungsten (TIG) for the union of the different elements of the structure and other processes such as cutting, bending. Finally, the components of the system were assembled to perform the necessary field tests where it was concluded that the prototype meets the criteria established above, since it is capable of propelling a wheelchair with its occupant on a 12% slope route with a speed of 5km/h, while in a flat area it reaches 20km/h; in terms of autonomy, the system travels a distance of 16 km in full load. It is recommended for future designs to use lighter materials to facilitate handling and reduce their energy consumption.

KEY WORDS: <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <PROPULSION SYSTEM>, <AUTONOMY>, <PROTOTYPE DESIGN>, <SIMULATION>, <PROTOTYPE IMPLEMENTATION>, <WHEELCHAIR>, <SAFETY FACTOR>.

RESUMEN

Se realizó el diseño y construcción de un sistema de propulsión anclable a una silla de ruedas para el traslado de personas parapléjicas en zonas urbanas, esta propuesta tecnológica se inició con investigación bibliográfica y recolección de la información con la finalidad de establecer los requisitos y los parámetros del prototipo como: potencia y torque. En función de estos parámetros se seleccionó un sistema de propulsión eléctrico que consta de un motor brushless de 350 Watts, batería de ion litio de 36 voltios 9 amperios y un controlador de 15 amperios. En la fase de diseño se escogió el acero A36 para el modelado del prototipo en software de diseño asistido por computador (CAD), posteriormente se realizó la simulación del sistema bajo condiciones preestablecidas y se alcanzaron resultados satisfactorios; los componentes están sometidos a esfuerzos por debajo de su límite elástico, donde su deformación es mínima y no afecta el funcionamiento del mismo, con el factor de seguridad obtenido se garantiza la fiabilidad del equipo. Determinada la fiabilidad del diseño se procedió a la construcción del prototipo por métodos de manufactura adecuados como: soldadura de gas inerte de tungsteno (TIG) para la unión de los diferentes elementos de la estructura y otros procesos como: corte, doblado. Finalmente se ensamblaron los componentes del sistema para realizar las pruebas de campo necesarias donde se concluyó que el prototipo cumple con los criterios establecidos anteriormente, ya que es capaz de propulsar una silla de ruedas con su ocupante en una ruta del 12% de pendiente con una velocidad de 5 km/h, mientras que en plano alcanza los 20 km/h; en cuanto a la autonomía el sistema recorre una distancia de 16 km a plena carga. Se recomienda para futuros diseños utilizar materiales más ligeros para facilitar su manipulación y reducir su consumo energético.

PALABRAS CLAVE: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE INGENIERÍA>, <SISTEMA DE PROPULSIÓN>, <AUTONOMÍA>, <DISEÑO DE PROTOTIPO>, <SIMULACIÓN>, <IMPLEMENTACIÓN DE PROTOTIPO>, <SILLA DE RUEDAS>, <FACTOR DE SEGURIDAD>.



Juan Carlos
15-07-2019

ABSTRACT

The design and construction of a propulsion system anchorable to a wheelchair for the transfer of paraplegic people in urban areas was carried out, this technological proposal was initiated with bibliographical research and information gathering in order to establish the requirements and parameters of the prototype as: power and torque. Based on these parameters, an electric propulsion system consisting of a brushless motor with 350 Watts, a 36-volt 9-amp lithium-ion battery and a 15-amp driver was selected. In the design phase, the A36 steel was chosen for the modeling of the prototype in a computer-aided design software (CAD), then the simulation of the system was carried out under pre-established conditions and satisfactory results were achieved; the components are subjected to stresses below their elastic limit, where their deformation is minimal and does not affect the operation thereof, with the safety factor obtained, the reliability of the equipment is guaranteed. Once the reliability of the design was determined, the prototype was built by suitable manufacturing methods such as tuning of inert gas from tungsten (TIG) for the union of the different elements of the structure and other processes such as cutting, bending. Finally, the components of the system were assembled to perform the necessary field tests where it was concluded that the prototype meets the criteria established above, since it is capable of propelling a wheelchair with its occupant on a 12% slope route with a speed of 5km/h, while in a flat area it reaches 20km/h; in terms of autonomy, the system travels a distance of 16 km in full load. It is recommended for future designs to use lighter materials to facilitate handling and reduce their energy consumption.

KEY WORDS: <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <PROPULSION SYSTEM>, <AUTONOMY>, <PROTOTYPE DESIGN>, <SIMULATION>, <PROTOTYPE IMPLEMENTATION>, <WHEELCHAIR>, <SAFETY FACTOR>.



INTRODUCCIÓN

La movilidad es uno de los grandes problemas que tienen que enfrentar las personas con capacidades diferentes en su diario vivir, ya que los vehículos de transporte público no cuentan con las adaptaciones necesarias para el fácil acceso de aquellos que necesitan una silla de ruedas para trasladarse. Debido a esto, se ha limitado su autonomía e independencia a la hora de desarrollar sus actividades cotidianas, obstaculizando su inclusión en la sociedad.

El acceso a los vehículos de transporte público representa uno de los mayores desafíos para las personas de movilidad reducida y dependen de terceros para llevarlo a cabo, ya que estos vehículos no cuentan los mecanismos requeridos para que los usuarios de sillas de ruedas puedan ingresar por su cuenta, por lo tanto, un sistema propulsor para una silla de ruedas seguro y fiable, facilitará el desplazamiento de los mismos en la ciudad.

El diseño y construcción de un sistema propulsor anclable a una silla de ruedas para traslado autónomo de personas parapléjicas en zonas urbanas, se presenta como una respuesta alternativa al problema de movilidad en silla de ruedas, permitiendo la inclusión social de los usuarios y brindando las oportunidades necesarias para su desarrollo personal; este sistema también ayudará a los estudiantes de la ESPOCH que necesitan de una silla de ruedas para trasladarse dentro de sus instalaciones. En la elaboración de dicho proyecto se emplean conocimientos científicos adquiridos mediante la investigación bibliográfica y exploratoria para la búsqueda de la solución más factible.

Por medio del presente proyecto de titulación se plantea una propuesta tecnológica que contribuirá a la investigación y desarrollo de sistemas de propulsión similares que permitan la inclusión de usuarios de sillas de ruedas ajustándose a sus necesidades y que empleen fuentes de energía amigables con el medio ambiente.

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL.

1.1. Antecedentes.

En base a los datos extraídos del Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades (CONADIS) (2018), en nuestro país existen en la actualidad 206587 personas con discapacidad física, de las cuales 2944 pertenecen a la ciudad de Riobamba. En la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) existen estudiantes con discapacidad física, algunos son usuarios de silla de ruedas que no cuentan con un vehículo inclusivo apropiado para trasladarse dentro de las instalaciones de la institución, pese a que en la Constitución de la República del Ecuador se propone facilitar la inclusión de las personas con capacidades diferentes, en la actualidad no existen los medios de transporte adecuados para facilitar la movilidad de las personas que utilizan una silla de ruedas.

Debido a que en la actualidad no existen los medios de transporte público adecuados para proveer un fácil acceso de las personas de movilidad reducida y que utilizan una silla de ruedas para desplazarse, se han venido desarrollando sistemas de diferentes tipos que permitan a los usuarios de sillas de ruedas trasladarse con mayor autonomía e independencia durante la realización de sus actividades diarias, estos sistemas permiten la integración de las personas con capacidades especiales y deben adaptarse a las necesidades de los usuarios.

En el presente proyecto se busca diseñar y construir un sistema propulsor anclable a una silla de ruedas, el cual es de gran importancia para la sociedad, ya que permitirá la inclusión de las personas con capacidades diferentes, facilitando principalmente la movilidad de las personas parapléjicas y brindando igualdad de condiciones y oportunidades; además servirá como un punto de partida para la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías de transporte inclusivo, amigables con el medio ambiente y que se adapten a las necesidades de los usuarios para proporcionar la autonomía adecuada.

1.2. Planteamiento del problema.

La accesibilidad al transporte público es la mayor dificultad a la que tienen que enfrentarse las personas de movilidad reducida, por lo que, dependen de otros para movilizarse y acceder a los medios de transporte, los cuales no disponen de las facilidades requeridas por quienes utilizan una silla de ruedas para trasladarse.

El acceso a la educación superior es uno de los problemas que se derivan de la falta de medios de transporte inclusivos que permitan el desplazamiento de los usuarios de silla de ruedas a los centros de estudios, por lo que también se ha dificultado su inserción en el medio laboral y se presentan dificultades serias en su poder adquisitivo reduciendo así sus probabilidades de adquirir un vehículo adaptado a sus necesidades, por todo lo expuesto anteriormente, se ha visto la necesidad de diseñar y construir un sistema de propulsión que se acople a una silla de ruedas, se adapte a las necesidades del ocupante facilitando su traslado y proporcionando una mayor autonomía.

1.3. Justificación.

1.3.1. Justificación Teórica.

Por medio del presente trabajo de grado se estudiarán y aplicarán conocimientos pertenecientes al campo de la ingeniería automotriz, que con ayuda de software de modelado, simulación y análisis posibilitarán la conceptualización del diseño de un sistema de propulsión anclable a una silla de ruedas para posteriormente aplicar los procesos de manufactura adecuados para su construcción, de tal manera que el prototipo permita la fácil movilidad de los ocupantes de sillas de ruedas y se ajuste a sus necesidades.

Este proyecto de titulación también servirá como base para futuras investigaciones enfocadas en el desarrollo de sistemas de propulsión para sillas de ruedas o vehículos inclusivos que favorezcan el traslado de las personas de movilidad reducida.

1.3.2. Justificación Metodológica.

El presente trabajo de grado se enfoca en la utilización de los conocimientos científicos para sostener una propuesta tecnológica que permita solucionar el problema vinculado a la movilidad de las personas que utilizan una silla de ruedas para trasladarse, en esta ocasión mediante la realización del diseño y construcción de un sistema de propulsión anclable a una silla de ruedas.

Con este sistema de propulsión para sillas de ruedas se pretende eliminar o reducir de manera significativa el problema relacionado a la movilidad de las personas que necesitan silla de ruedas para moverse, para lo cual se aplica una investigación de tipo bibliográfica con la finalidad de reunir la información necesaria para sostener el presente proyecto; además implica de una investigación de campo a nivel exploratorio con el fin de examinar los elementos de interés en el sitio del objeto de estudio.

La realización de este trabajo de titulación parte con la búsqueda de información para determinar los requisitos que satisfacen las necesidades de los usuarios para la elaboración del diseño del sistema de propulsión, el mismo que es analizado a través de software de simulación en ciertas condiciones preestablecidas que permitirán definir los materiales y procesos adecuados para su construcción, garantizando así un óptimo funcionamiento del prototipo.

1.3.3. Justificación Práctica.

El presente trabajo de titulación se realiza debido a que no existen medios de transporte inclusivos en la ciudad de Riobamba, así como dentro de la ESPOCH que faciliten el desplazamiento de las personas que utilizan silla de ruedas, por lo que se ha visto la necesidad de diseñar y construir un sistema de propulsión anclable a una silla de ruedas para su uso en zonas urbanas y en las instalaciones de la institución, con el que se pretende proporcionar una mayor libertad y autonomía a los usuarios de silla de ruedas durante la realización de sus actividades cotidianas.

Este proyecto resulta muy importante para la comunidad porque posibilitará la inclusión de las personas de movilidad reducida, garantizando así su derecho a la movilidad,

mejorando sus oportunidades y condiciones. Este trabajo de titulación también servirá como base para futuras investigaciones y el desarrollo de sistemas de propulsión o vehículos inclusivos, que cumplan con los requerimientos del usuario y sean ecológicamente amigables.

1.4. Objetivos.

1.4.1. Objetivo general.

Diseñar y construir un sistema propulsor anclable a una silla de ruedas empleando un proceso de manufactura adecuado, para facilitar el traslado autónomo de personas parapléjicas en zonas urbanas.

1.4.2. Objetivos específicos:

- Fundamentalizar los principios de anclaje, traslado y manipulación de personas con capacidades diferentes a través de la investigación bibliográfica para el desarrollo del sistema propulsor.
- Diseñar y simular un sistema propulsor mediante software CAD, CAE para validar el comportamiento del mismo en ciertas condiciones de operación simuladas.
- Construir el sistema propulsor por medio de una selección de materiales adecuados considerando peso, potencia y funcionalidad, para garantizar ligereza y fiabilidad.
- Validar el sistema propulsor mediante ensayos de campo con personas parapléjicas, bajo ciertas condiciones previamente establecidas, para asegurar el confort, seguridad y fiabilidad del mismo.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.

2.1. Transporte de personas con discapacidad física.

A pesar de que en la Ley Orgánica de Discapacidades establecida en el año 2012 se prometió resolver los problemas que presentan las personas con movilidad reducida para desplazarse a través de la ciudad, no se ha visto ninguna mejora en este aspecto, puesto que el transporte público actual no cuenta con las adaptaciones necesarias para que un usuario de silla de ruedas pueda acceder con facilidad, a pesar de que cuando incrementaron el costo de los pasajes se comprometieron a mejorar el servicio; por lo mismo las personas que necesitan una silla de ruedas para movilizarse se sienten excluidas y tienen que trasladarse mediante sus propios medios o hacer uso de taxis, aunque para algunos ha sido difícil también acceder a estos (La hora, 2016).



Figura 1-2: Movilidad de personas con discapacidad en la ciudad.
Fuente: (La hora, 2016).

2.2. Sillas de ruedas.

La silla de ruedas es un tipo de vehículo personal que permite el desplazamiento de aquellas personas que han perdido la capacidad de movilizarse de manera permanente o parcial; una silla de ruedas debe ser adecuada para el grado de incapacidad del usuario, facilitando así la realización de sus actividades diarias (Gorgues, 2005, p.1).

2.2.1. Silla de ruedas para uso temporal.

Este tipo de sillas de ruedas no están adecuadas para el grado de invalidez de los usuarios, ya que se utilizan para desplazar a los mismos en cortas distancias (OMS, 2008, p.28).



Figura 2-2: Silla de ruedas para uso temporal.

Fuente: (OMS, 2008).

2.2.2. Silla de ruedas para uso permanente.

Estas sillas son utilizadas por aquellas personas que presentan una discapacidad permanente, por lo tanto, están adaptadas para que varios de sus componentes como el espaldar, el apoyo para pies y la posición de las ruedas sean ajustables con el fin de asegurar la comodidad del usuario (OMS, 2008, p.29).

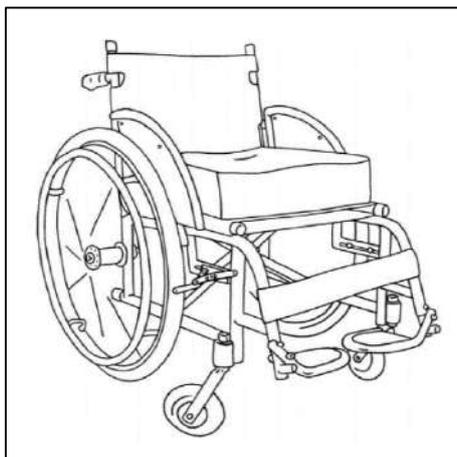


Figura 3-2: Silla de ruedas para uso permanente.

Fuente: (OMS, 2008).

2.3. Sillas de ruedas propulsadas.

2.3.1. Accionados por acompañante.

Este sistema de propulsión es el más económico que se puede encontrar en el mercado y está formado por un motor con una o dos ruedas que se ubican debajo del asiento de la silla en la parte posterior; una palanca se sitúa en las manguetas para permitir su accionamiento por parte del acompañante (Morales, 2015, p.21).



Figura 4-2: Motorización accionada por acompañante.
Fuente: (Morales, 2015).

2.3.2. Accionados por el usuario.

En la motorización accionada por el usuario se presentan dos alternativas: si el control de la dirección del sistema es por manillar o es electrónico.

2.3.2.1. Control mediante manillar.

Este sistema de propulsión es el que más se parece a nuestro prototipo; consiste en un dispositivo que se acopla en la parte frontal de la silla de ruedas y produce la tracción por medio de una rueda delantera (Morales, 2015, p.22).



Figura 5-2: Motorización con manillar Batec.

Fuente: (Morales, 2015).

2.3.2.2. Silla de ruedas eléctrica.

Estas sillas son pensadas para aquellas personas que han perdido la capacidad de caminar y tienen dificultad para manejar una silla de ruedas convencional; las sillas eléctricas son impulsadas por motores eléctricos alimentados por baterías y el mando de la dirección suele ser tipo joystick, facilitando la movilidad, autonomía e independencia de los usuarios (CONCEMFE, 2014).



Figura 6-2: Silla de ruedas eléctrica.

Fuente: <https://www.bidea.es/noticias/diferentes-tipos-de-sillas-de-ruedas-para-discapacitados/>

2.4. Motor eléctrico.

Los motores eléctricos son aquellas máquinas que pueden convertir la electricidad en energía mecánica; estos están desplazando a otras fuentes de energía debido a que son más económicos, limpios y seguros durante su funcionamiento (ANDRINO, 2016, p.31).

Los motores de corriente alterna son los más utilizados hoy en día, ya que no es necesario transformar la corriente alterna a continua, se utiliza la corriente tal como es proporcionada por las empresas eléctricas (PEER, 2007, p.6).

2.4.1. *Motor Trifásico.*

“Es una maquina eléctrica rotativa, capaz de convertir la energía eléctrica trifásica suministrada, en energía mecánica. La energía eléctrica trifásica origina campos magnéticos rotativos en el bobinado del estator” (CLR, 2017).

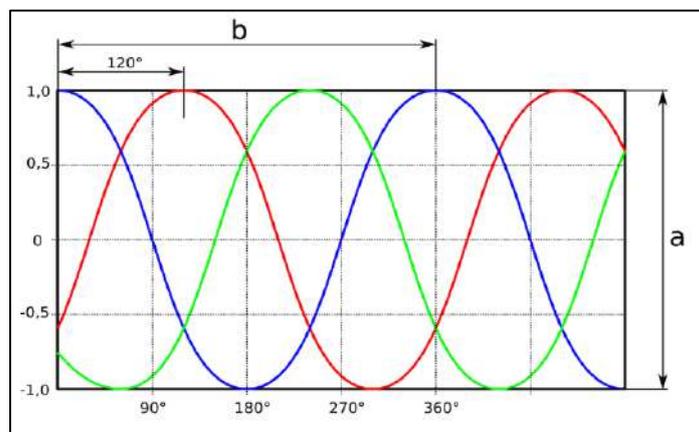


Gráfico 1-2: Curva característica de un motor trifásico.

Fuente: <https://clr.es/blog/es/motores-monofasicos-bifasicos-trifasicos/>

2.4.2. *Aplicaciones de los motores eléctricos trifásicos.*

Este tipo de motores se utilizan para impulsar una gran cantidad de equipos, a continuación, se enlistan las aplicaciones más importantes de estas máquinas eléctricas (Farina, 2016, p.68):

- Compresores
- Bombas: elevadoras de agua
- Ascensores hidráulicos o eléctricos
- Escaleras mecánicas
- Acondicionadores de aire
- Ventilación
- Rampas
- Portones automáticos
- Maquinas herramientas: tornos, fresadoras.

- Propulsión de vehículos

2.5. Batería.

Las baterías son dispositivos que transforman la energía química en energía eléctrica y viceversa, estas almacenan la energía eléctrica para que sea utilizada cuando esta se requiera; una batería puede ser cargada y descargada un gran número de veces, por lo que se puede decir que el proceso es reversible.

2.5.1. Baterías de litio.

Las baterías de Ion litio son mucho más ligeras que otras de capacidad similar, por lo cual estas pueden almacenar 6 veces más energía que las baterías de plomo-ácido en un espacio semejante. “Tienen una densidad de energía muy alta, debido a los modernos polímeros utilizados en su construcción, además de la baja densidad del grafito” (González, 2015, p.33-34).

Entre las principales ventajas de estas baterías tenemos que presentan baja pérdida de energía, además el efecto memoria no las afectan de manera significativa como ocurre con las baterías Ni-MH, las cuales pueden perder hasta un 20% de su capacidad de carga cada mes y son ideales para aparatos portátiles de uso frecuente, ya que soportan gran cantidad de ciclos de carga-descarga (González, 2015, p.34).

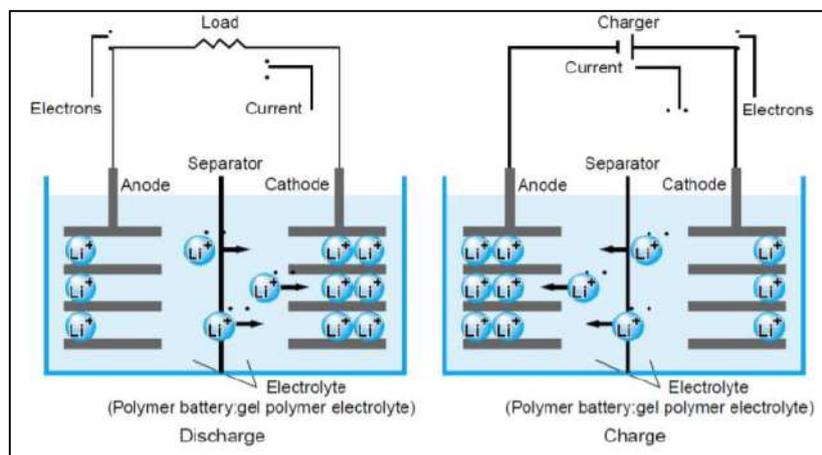


Figura 7-2: Proceso carga-descarga de una batería de litio.

Fuente: (González, 2015).

Entre las desventajas de estas baterías podemos encontrar una corta duración de aproximadamente 2 a 5 años, los electrodos se deterioran cuando se descargan totalmente, presentan dificultades a elevadas temperaturas y los costos son todavía altos en comparación a tecnologías similares (González, 2015, p.34).

2.6. Controlador.

El controlador o sistema de control para motores eléctricos es un dispositivo o conjunto de dispositivos que permiten ajustar las operaciones del motor, al mismo tiempo que garantizan la protección de éste durante su funcionamiento (Buitrón, 2000, p.10).

Para protegerse a sí mismo, el dispositivo presenta las siguientes seguridades: corte de baja tensión y condiciones de sobrecalentamiento, disminuyendo la corriente de alimentación o incluso apagando el sistema si es necesario (Vargas, 2015, p.33).

2.6.1. Corte por baja tensión.

Si se presenta una situación en el que vehículo se detiene repentinamente, si se dejan pasar unos 20 minutos las baterías regresaran a la vida lo suficiente para recorrer unos cuantos kilómetros hasta poder cargarlas (Vargas, 2015, p.34).

2.6.2. Sobretemperatura en el controlador.

Para no quemar el controlador; el controlador cambia la frecuencia de 15 a 1 kHz cuando existen temperaturas muy elevadas, esto le permite al controlador reducir la potencia para alcanzar la temperatura normal de funcionamiento (Vargas, 2015, p.34).



Figura 8-2: Controlador KEB.

Fuente: (Vargas, 2015).

2.6.3. *Ventajas de un controlador:*

- Protección eléctrica del motor
- Mantiene la velocidad constante
- Respuesta dinámica a las demandas cambiantes del sistema
- Monitorización para evaluar el diagnóstico / rendimiento de la máquina
- Ahorro de energía
- Control de velocidad preciso

2.7. **Acelerador.**

Al activar el acelerador el motor proporcionará la energía necesaria para impulsar hacia adelante, éste arranque tiene que hacerse de manera lenta caso contrario la batería sufrirá daños afectando así su vida útil y autonomía (Bikelec, 2015).

2.7.1. *Acelerador de puño.*

Es el acelerador más utilizado en bicicletas eléctricas y se acciona girando una mangueta que es similar al funcionamiento de una motocicleta, el motor acelerará tan rápido como se gire el puño (Bikelec, 2015).



Figura 9-2: Acelerador de puño para bicicletas eléctricas.

Fuente: <https://tracketea.com/producto/punoacelerador-derecho-e-izquierdo-citycoco-version-x/>

2.8. Materiales para la construcción de la estructura.

2.8.1. El acero.

Según el tratamiento térmico del acero se pueden obtener diferentes propiedades y características, debido a esto existe una gran variedad de aceros en el mercado y son los materiales más utilizados en la industria.

2.8.2. Aceros inoxidables.

Se les llama aceros inoxidables porque estos aceros contienen cromo, que en presencia de oxígeno forman una fina y dura capa de óxido de cromo para proteger al material de la corrosión; otras ventajas de los aceros inoxidables son: mayor resistencia y ductilidad (Kalpakjian, 2002, p.161).

2.8.3. Acero estructural.

El ASTM A36 es el acero estructural más común, se desarrolló hace mucho tiempo en los Estados Unidos para la elaboración de estructuras atornilladas, remachadas y soldadas, mejorando así la constitución de los aceros de aquel tiempo como el ASTM A7 (AHMSA, 2013, p.3).

Las propiedades principales de este material son:

- Esfuerzo de fluencia de 2530 kg/cm^2 (250 MPa , 36 ksi) (AHMSA, 2013, p.3).
- Esfuerzo de ruptura en tensión de 4080 kg/cm^2 a 5620 kg/cm^2 (400 a 550 MPa , 58 a 80 ksi) (AHMSA, 2013, p.3).

2.8.4. Aluminio.

El aluminio se caracteriza por su ligereza y su alta resistencia a la corrosión (Hernández, 2007, p.501). Comparado con el acero es tres veces más ligero, es altamente dúctil y posee una resistencia mecánica baja, la cual puede ser mejorada mediante la aleación de aluminio con otros elementos (Hernández, 2007, p.501).

2.8.5. Láminas de acero estructural ASTM A36 de 4mm de espesor.

Es uno de los materiales más empleados en la industria, ya que permite el soldado, empernado y encasquillado en la construcción de estructuras en general como puentes y edificios (Leeco Steel, 2012).

Este tipo de láminas se utilizan principalmente para: conformación de estructuras en general con elementos de alma llena, fabricación de tanques, estructuras de puentes, estructuras de barcos, camisas de pilotes, encofrados, placas, contención de tierra, plataformas, calderos, y tubería de grandes diámetros (IPAC, 2014).

2.9. Procesos de soldadura.

“El soldeo es el proceso de unión por el que se establece la continuidad entre las partes a unir con o sin calentamiento, con o sin aplicación de presión y con o sin aportación de material” (Hernández, 2007, p.8).

2.9.1. Soldadura por arco de tungsteno y gas.

En la soldadura GTAW (del inglés gas tungsten arc welding) antes conocida como soldadura TIG (del inglés tungsten inert gas), se utiliza un electrodo de tungsteno que no se consume durante la operación y el material de aportación es suministrado por un alambre de aporte, este material es de composición similar a las piezas a soldar y no requiere de fundente (Kalpakjian, 2002, p.946).

Una de las principales desventajas de este tipo de soldadura es que resulta más costoso que otros procesos como el de arco metálico protegido debido al gas inerte que se utiliza en el proceso, pero a cambio se obtiene un acabado superficial de alta calidad.

“El proceso TIG puede emplearse para aluminio, magnesio, acero inoxidable, bronce, plata, cobre, níquel y aleaciones, hierro fundido, aceros dulces, aceros aleados, abarcando una amplia gama de espesores de metal; también se emplea para pases de raíz en juntas soldadas de tubos de acero, buscando la mayor eficiencia en primer pase” (OERLIKON, p.34).

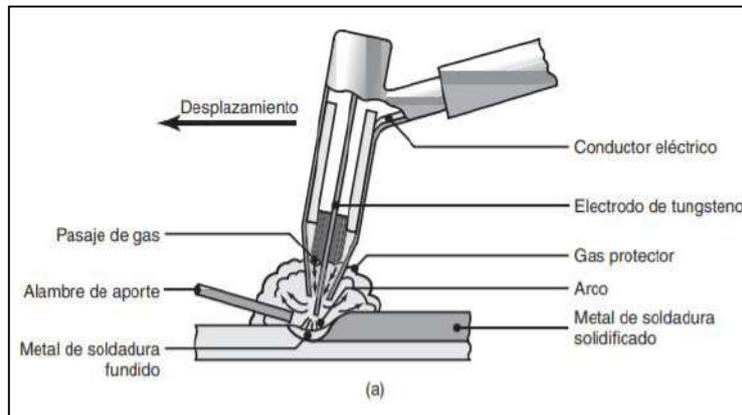


Figura 70-2: Soldadura por arco de tungsteno y gas.

Fuente: (Kalpakjian, 2002).

2.9.2. *Los electrodos.*

En la soldadura TIG se utilizan electrodos fabricados de tungsteno y sus aleaciones, ya que este material presenta su punto de fusión a temperatura muy alta de aproximadamente 6 170 °F y debido a esto no se consumen durante el proceso de soldadura (OERLIKON, p.34).

Podemos encontrar diferentes tipos de electrodos de acuerdo a su composición:

- Los electrodos que están formados solo de tungsteno son los más baratos.
- Electrodos aleados que contienen de 1 a 2 % de torio son de larga vida y se utilizan para trabajar con aceros.
- Los electrodos de tungsteno aleados con circonio son de mayor calidad y baja contaminación, se utilizan para aluminio.

2.9.3. *Material de aportación.*

El material de aportación debe ser de naturaleza similar al de las piezas a soldar y el grosor del alambre de aporte ha de seleccionarse de acuerdo a la intensidad de corriente empleada y al espesor del metal base (OERLIKON, p.34).

2.10. Sistema de diseño, manufactura e ingeniería asistido por computador.

2.10.1. Sistema CAD (Diseño Asistido por Computador).

El CAD son programas de computadora que permiten diseñar una pieza mediante herramientas de modelado geométrico y realizar un análisis posterior de su comportamiento mediante herramientas CAE (Navarro, 2005, p.1).

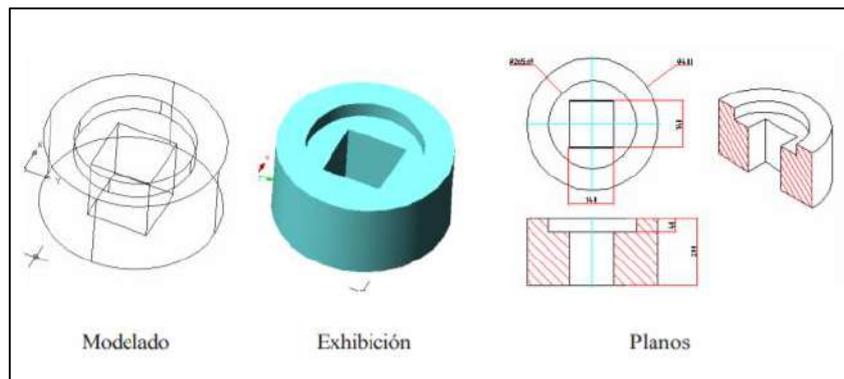


Figura 81-2: Modelado en software CAD.

Fuente: (Rojas et al., 2006).

2.10.2. Sistema CAM (Manufactura Asistida por Computador).

“CAM. Es el uso de sistemas informáticos para la planificación, gestión y control del proceso de fabricación de objetos” (Navarro, 2005, p.1). Una vez finalizado el diseño de una pieza se obtiene un código de programación, el mismo es utilizado por las máquinas de control numérico para su fabricación mediante una secuencia de operaciones descritas en dicho código.

2.10.3. Sistema CAE (Ingeniería Asistida por Computador).

Los sistemas CAE simulan el comportamiento de un elemento diseñado en software bajo ciertas condiciones que son aparentemente reales con la finalidad de realizar la optimización del elemento, un programa CAE nos permite verificar la factibilidad del diseño obteniendo en corto tiempo soluciones eficientes y con un alto grado de confianza; una vez alcanzada la solución más factible se procede a la fabricación del prototipo mediante el sistema CAM, reduciendo así gastos innecesarios (Rojas et al., 2006, p.9).

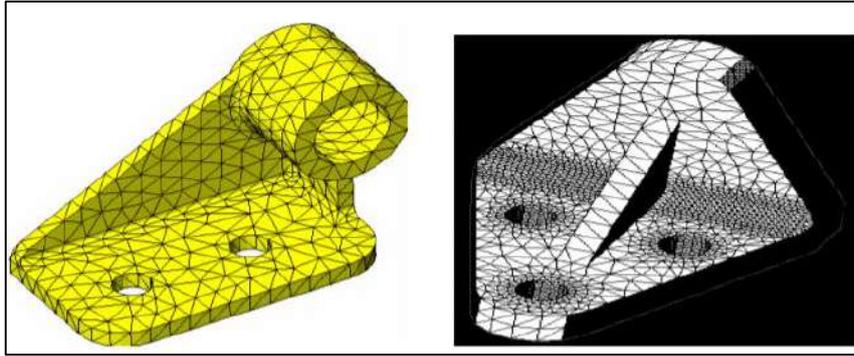


Figura 92-2: Modelos tridimensionales paramétricos.

Fuente: (Rojas et al., 2006).

CAPÍTULO III

3. DISEÑO DEL SISTEMA DE PROPULSIÓN.

3.1. Diagrama de procesos para el diseño y construcción del prototipo.

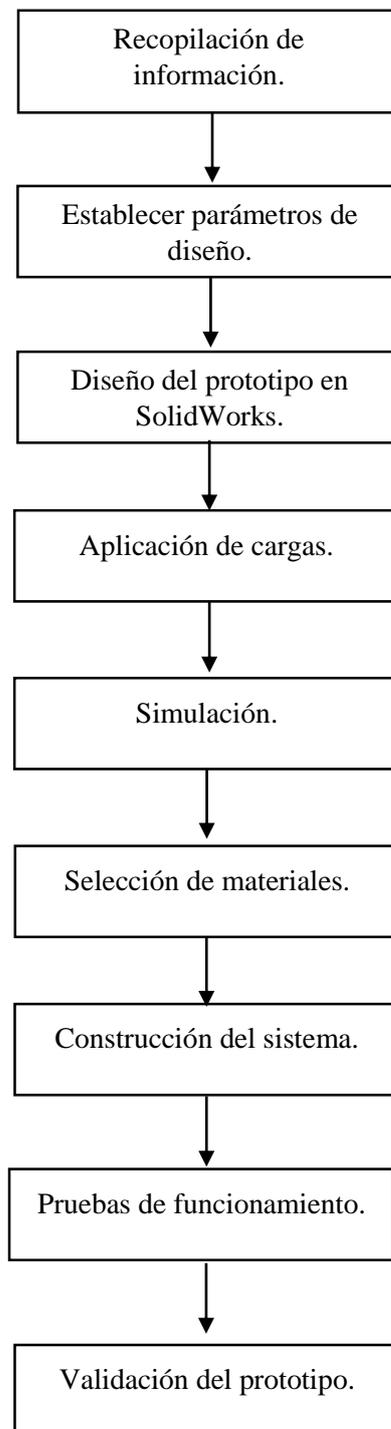
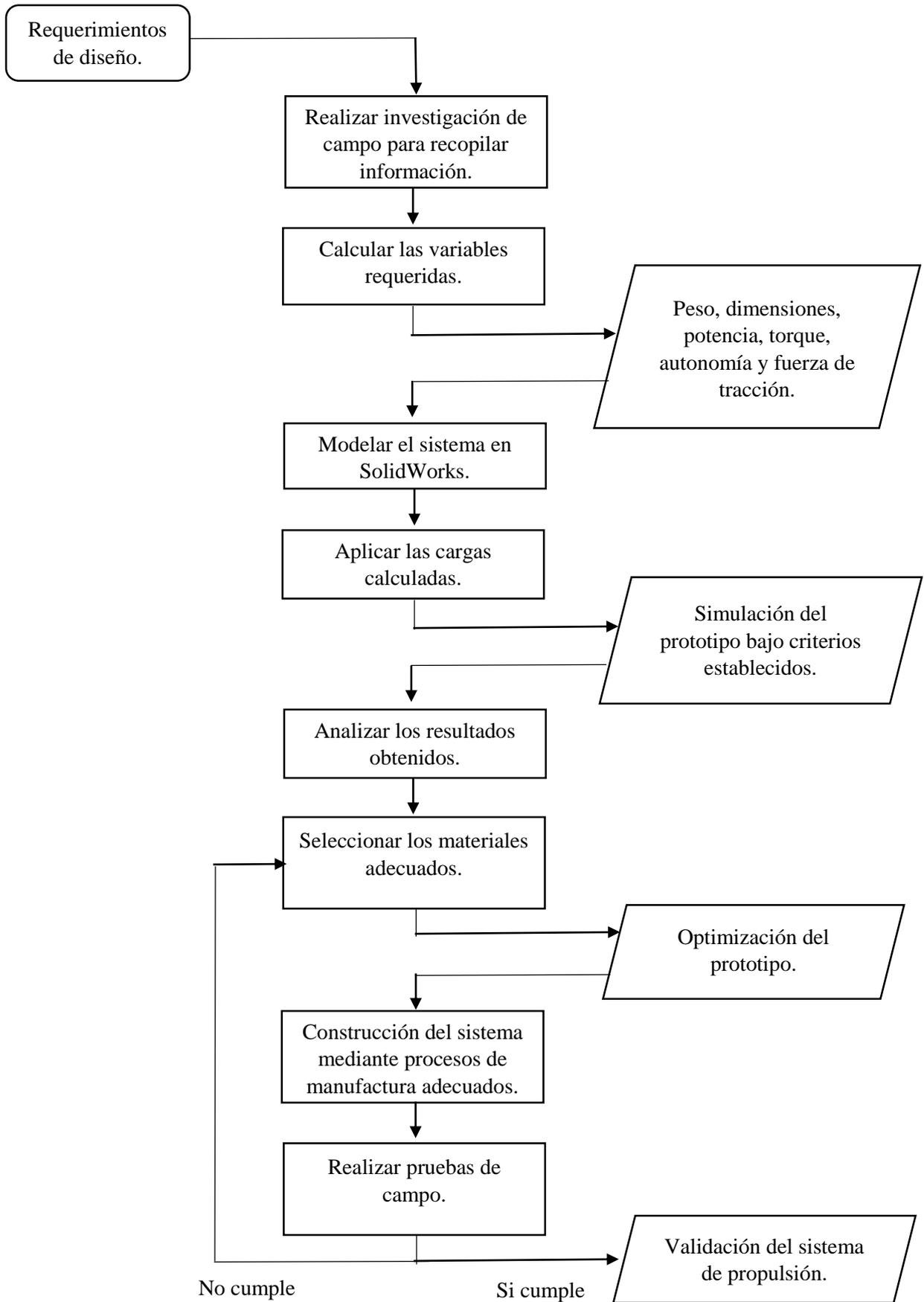


Diagrama de procesos para el diseño y construcción del sistema de propulsión:



3.2. Parámetros de diseño.

En este punto se determinaron los parámetros que permiten satisfacer las necesidades de las personas que utilizan una silla de ruedas para movilizarse y posibilitan el funcionamiento adecuado del prototipo bajo las condiciones requeridas. Los parámetros de diseño considerados son los siguientes:

- Dimensiones del prototipo.
- Peso de la silla de ruedas.
- Peso del usuario.
- Peso del prototipo.
- Velocidad de desplazamiento.
- Autonomía del sistema propulsor.



Figura 1-3: Vista isométrica del sistema de propulsión acoplado a una silla de ruedas.

Fuente: Autores.

La potencia requerida del motor para impulsar la silla de ruedas con su ocupante se calculó bajo las condiciones más críticas, que en este caso son los caminos con mayor pendiente que se pueden encontrar en las instalaciones de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Por lo tanto, si el sistema de propulsión es capaz de trasladar a una persona (100 kg peso máximo admisible) con su silla de ruedas (20 kg) a través de una pendiente del 12% (mayor pendiente de la ruta) con una velocidad promedio de 5 km/h,

por lo que el prototipo se comportará en perfectas condiciones en las vías de menor pendiente que se pueden encontrar en el transcurso del recorrido.



Figura 2-3: Ruta de prueba del sistema de propulsión.

Fuente: Autores.



Figura 3-3: Ruta de mayor pendiente en la ESPOCH.

Fuente: Autores.

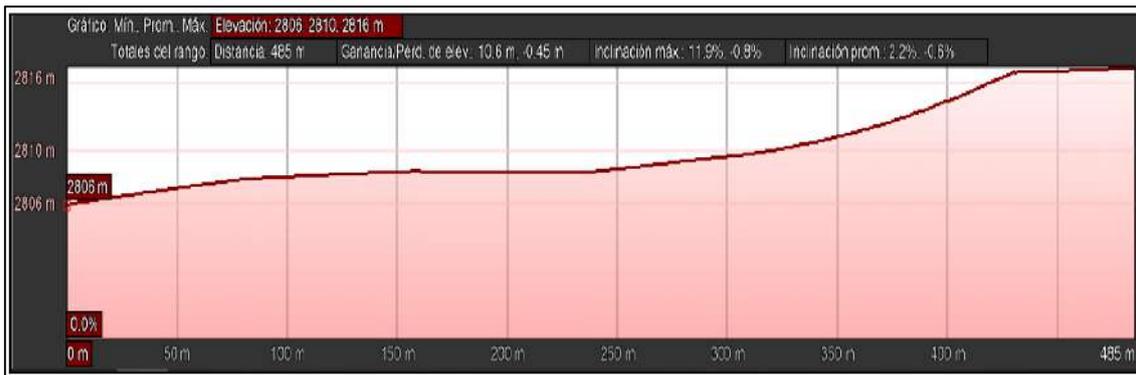


Gráfico 1-3: Pendiente máxima en la ruta.

Fuente: (Asto Guamán, y otros, 2018)

Tabla 1-3: Porcentajes de pendientes y grados de pendientes.

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: (Asto Guamán, y otros, 2018)

Realizado por: Edison Q & Bryan V, 2019

3.3. Fuerzas que actúan sobre el sistema de propulsión en la ruta de mayor pendiente.

3.3.1. Cálculo de la fuerza de rozamiento entre la calzada y los neumáticos (F_r).

Para calcular la fuerza de fricción generada entre los neumáticos y la calzada se emplea la siguiente ecuación:

$$F_r = U_r * m * g * \cos(\phi) \quad (1-3)$$

Donde:

$U_r = 0,015$ (coeficiente de fricción del hormigón).

$m =$ masa total del sistema (incluido el peso de la silla y del usuario).

$\phi =$ ángulo correspondiente al 12% de pendiente.

Ya que en la tabla 1-3 no muestra una pendiente de 12% se calculó su ángulo mediante interpolación:

$$\phi = \phi_1 + \left[\frac{(X - X_1)}{(X_2 - X_1)} \right] [\phi_2 - \phi_1] \quad (2-3)$$

$$\phi = 5,71^\circ + \left[\frac{(12\% - 10\%)}{(15\% - 12\%)} \right] [8,53^\circ - 5,71^\circ]$$

$$\phi = 6,84^\circ$$

$$F_r = 0,015 * 140 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * \cos(6,84)$$

$$F_r = 20,45 \text{ N}$$

3.3.2. Cálculo de la resistencia aerodinámica del prototipo (R_a).



Figura 4-3: Vista de la superficie del prototipo que entra en contacto con el viento.

Fuente: Autores.

Cálculo del área frontal del sistema:

$$A = \text{Ancho} * \text{Alto}$$

$$A = (46,8\text{cm} * 11,3\text{cm}) + (40\text{cm} * 4,9\text{cm}) + 2(22\text{cm} * 2,6\text{cm}) + (2,54\text{cm} * 22\text{cm}) \\ + (3,4\text{cm} * 13,1\text{cm}) + 2(8,1\text{cm} * 6\text{cm}) + 2(12,2\text{cm} * 43\text{cm})$$

$$A = 2086,06 \text{ cm}^2 \left(\frac{1\text{m}^2}{(100\text{cm})^2} \right)$$

$$A = 0,209 \text{ m}^2$$

La ecuación que permite calcular la resistencia del viento es la siguiente:

$$R_a = \frac{1}{2} * \rho * A * C_x v^2 \quad (3-3)$$

Donde:

ρ = densidad del aire en Riobamba.

A = área frontal del sistema.

C_x = coeficiente de arrastre.

v = velocidad en pendiente.

$$R_a = \frac{1}{2} * 0,834 \frac{kg}{m^3} * 0,209m^2 * 0,5 * \left(1,39 \frac{m}{s}\right)^2$$

$$R_a = 0,084 N$$

3.3.3. Cálculo del peso total del sistema propulsor en la pendiente máxima (Fy).

Para medir el peso independiente de cada elemento que forma parte del sistema se utilizó una balanza digital, obteniendo los siguientes datos:

Tabla 2-3: Peso del sistema propulsor.

Componente	Peso (Kg)
Prototipo	17
Silla de ruedas	20
Persona	100
Total	137

Fuente: Autores

Realizado por: Edison Q & Bryan V, 2019

A continuación, se presenta la ecuación nos permitirá determinar el peso del sistema en pendiente:

$$F_y = m * g * \sin(\varnothing) \quad (4-3)$$

$$F_y = 137 kg * 9,81 \frac{m}{s^2} * \sin(6,84^\circ)$$

$$F_y = 160,06 N$$

3.3.4. Cálculo de la fuerza de tracción eléctrica total (Fte).

Para que el sistema propulsor alcance la pendiente máxima de la ruta a 5 km/h el motor eléctrico tiene que mantener una aceleración mínima de 0,04 m/s² (Lowry, 2003), y se utiliza la ecuación que relaciona las fuerzas calculadas anteriormente:

$$Fte = m * a + Fr + Ra + Fy \quad (5-3)$$

$$Fte = (137kg) * \left(0,04 \frac{m}{s^2}\right) + (20,45N) + (0,084N) + (160,06N)$$

$$F_{te} = 186,07 \text{ N}$$

En la siguiente gráfica se puede observar la fuerza de tracción que requiere el motor eléctrico en función del porcentaje de pendiente.

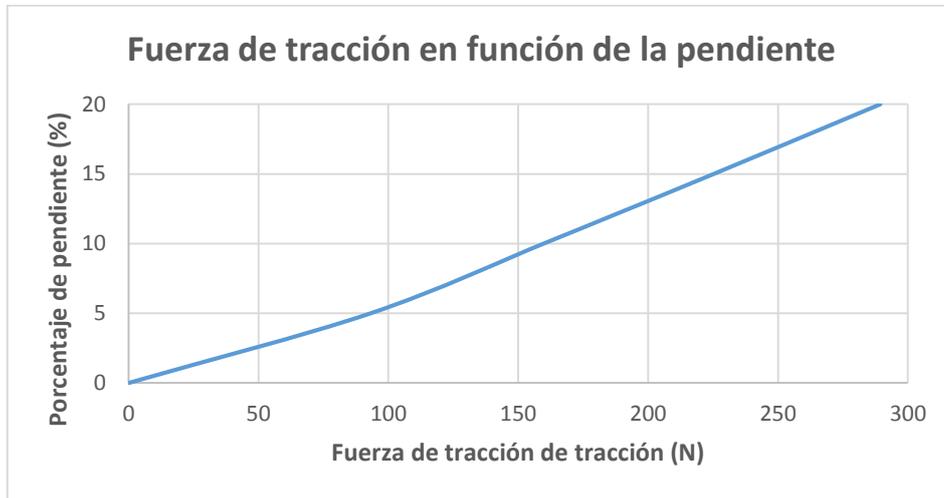


Gráfico 2-3: Fuerza de tracción de acuerdo a la pendiente.

Fuente: Autores

3.3.5. Cálculo del torque requerido (Tr).

El torque requerido por el sistema para impulsar la silla de ruedas está directamente relacionado con la medida de la rueda utilizada y la fuerza de empuje calculada anteriormente (Becerril Sandoval, 2014).

$$Tr = R * F_{te} \quad (6-3)$$

Donde:

Tr = Torque requerido

R = Radio del neumático

F_{te} = Fuerza de tracción eléctrica

$$Tr = 0,2032 \text{ m} * 186,07 \text{ N}$$

$$Tr = 37,81 \text{ Nm}$$

A continuación, se presenta una imagen en la que se puede observar el comportamiento del torque del motor en función de la velocidad de giro. La línea roja corresponde al torque del motor, la línea naranja entrecortada es la resistencia a la rodadura y la línea negra entrecortada representa la resistencia aerodinámica.

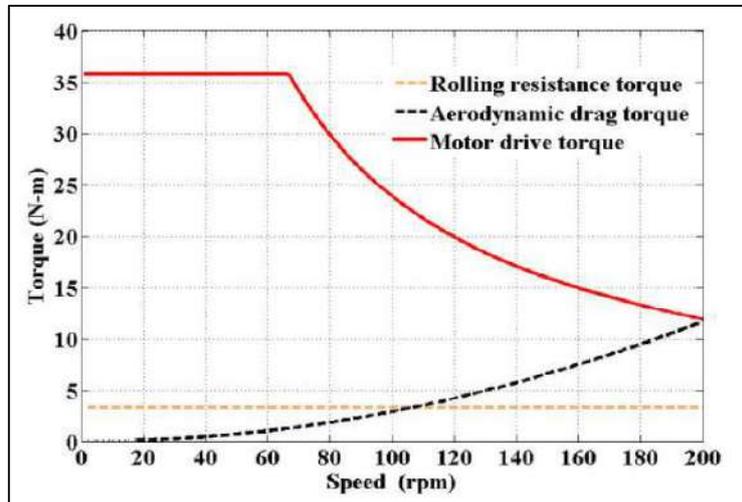


Gráfico 3-3 Gráfica de velocidad del par del motor vs características de un motor.

Fuente: www.researchgate.net/publication/323664289_Analisis_y_Eleccion_de_un_Motor_Brushless

3.3.6. Cálculo de la velocidad angular (ω).

La velocidad angular es la relación que existe entre la velocidad máxima de giro y el radio de la rueda y se expresa de la siguiente manera:

$$\omega = \frac{V_{max}}{R} \quad (7-3)$$

En donde:

ω = Velocidad angular en rad/s

V = velocidad máxima de giro de la rueda (5,56 m/s)

R = radio del neumático

$$\omega = \frac{5,56m/s}{0,2032m}$$

$$\omega = 27,36 \text{ rad/s}$$

La velocidad angular en rpm:

$$\omega = \frac{\omega(60)}{2\pi}$$

$$\omega = \frac{27,36 \text{ rad/s (60)}}{2\pi}$$

$$\omega = \mathbf{261,27 \text{ rpm}}$$

3.4. Cálculo de la potencia necesaria y selección de motor.

3.4.1. Cálculo de la potencia.

$$P_{requerida} = F_{te} * v_{max} \quad (8-3)$$

$$P_{requerida} = 186,07N * 1,39 \text{ m/s}$$

$$P_{requerida} = \mathbf{258,43 \text{ W}}$$

Potencia requerida en hp:

$$P_{requerida} = 258,43 \text{ W} \left(\frac{1 \text{ hp}}{745,7 \text{ W}} \right)$$

$$P_{requerida} = \mathbf{0,35 \text{ hp}}$$

Suponiendo que las pérdidas son de aproximadamente 25%, entonces el motor eléctrico tendrá una eficiencia de 75%, por lo cual, la potencia requerida para el prototipo se determinará de la siguiente manera:

$$P_{motor} = \frac{P_{requerida}}{0,75}$$

$$P_{motor} = \frac{258,43 \text{ W}}{0,75}$$

$$P_{motor} = 344,57 W \left(\frac{1 hp}{745,7 W} \right)$$

$$P_{motor} = 0,46 hp$$

3.4.2. *Parámetros requeridos para la selección del motor eléctrico.*

Se consideraron ciertos parámetros importantes para la selección del motor eléctrico como son: la potencia, torque y fuerza de tracción para permitir el óptimo funcionamiento del sistema de propulsión y satisfacer las necesidades del usuario.

3.4.2.1. *Torque y potencia.*

Los parámetros de torque y potencia necesarios para que el sistema de propulsión desarrolle su funcionamiento de manera adecuada se calcularon anteriormente y se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 3-3: Parámetros requeridos para la selección del motor eléctrico.

Parámetro	Medida
Potencia	344,57 W
Torque	37,81 Nm
Fuerza de tracción	186,07 N

Fuente: Autores

Realizado por: Edison Q & Bryan V, 2019

3.4.2.2. *Eficiencia del motor.*

Los motores eléctricos tienen una eficiencia del 50% a 100% de la carga nominal, la cual es muy superior al 25% que presentan los motores de combustión interna. Con el fin de aprovechar al máximo el rendimiento del motor, se decidió trabajar con uno eléctrico.

3.5. Selección del motor

Después de determinar los parámetros requeridos para seleccionar el motor que permitirá el óptimo funcionamiento del prototipo durante la propulsión de la silla de ruedas y su ocupante, se encuentran diversas opciones en el mercado de motores empleados en bicicletas eléctricas con potencias que van desde los 250 W a los 500 W, de los cuales se realizó un análisis de sus características tales como: potencia, velocidad, autonomía y costo para elegir el más adecuado para el sistema de propulsión.

Tabla 4-3: Modelo y características de los sistemas de propulsión.

Modelo	Voltaje	Potencia	Velocidad	Tolerancia de peso	Autonomía
Alfa	36v	250 W	30 Km/h	90Kg	20-23 Km
Beta	36v	350W	30 Km/h	100Kg	35-40 Km
Magnos	36v	250W	30 Km/h	100Kg	20-25 Km
Clik	36v	250W	30 Km/h	90Kg	18-20 Km
Dash	36v	350W	30 Km/h	100Kg	30-35 Km
Gama 350	36v	350W	30 Km/h	120Kg	35-40 Km
Seal 500	36v	500W	40 Km/h	120Kg	35-40 Km
Cross	36v	350W	40 Km/h	120Kg	30-35 Km

Fuente: (Téllez, 2016)

Realizado por: Edison Q & Bryan V, 2019

De la tabla 4-3 se seleccionó el motor Brushless perteneciente al modelo DASH, debido a que este cumple con todas las condiciones requeridas que fueron calculadas anteriormente que son la potencia y el torque, además este motor presenta una autonomía bastante buena y es menos costoso que los motores de características similares.

3.5.1. Especificaciones del motor

En la siguiente tabla se muestran las características principales del motor eléctrico seleccionado:

Tabla 5-3: Características del motor eléctrico.

Parámetro	Especificación
Tipo de motor	Motor brushless
Voltaje	36 V
Potencia	350 W
Corriente	10 A
Velocidad máxima	30 km/h
Torque	35 Nm
Peso	2,8 kg

Fuente: (Téllez, 2016)

Realizado por: Edison Q & Bryan V, 2019

3.6. Parámetros para la selección del controlador.

El controlador es una herramienta que permite ajustar la velocidad, el par y el suministro de potencia de los motores eléctricos.

El controlador seleccionado debe cumplir con las especificaciones requeridas y detalladas a continuación:

- Ser adecuado para trabajar con motores brushless de 350 W con voltajes de 36 a 48V.
- Ser capaz de modificar ciertos factores como la corriente suministrada al motor, velocidad del motor y la sensibilidad del control del acelerador.
- Proteger el circuito eléctrico y sus componentes en caso de sobrecargas o temperaturas elevadas, apagando el sistema si es necesario.

El controlador fue seleccionado de un grupo, en base a sus especificaciones y características que se detallan a continuación:

Tabla 6-3: Especificaciones para controladores de motores Brushless.

Modelo	Rango de voltaje	Amperaje máximo	Potencia
1	36V	15A	350W
2	36V	22A	500W

Fuente: <https://www.biobike.es/producto-categoria/kits-de-conversion-a-bicicleta-electrica/componentes-kits-de-conversion/>

Realizado por: Edison Q & Bryan V, 2019

El controlador seleccionado fue la primera alternativa que corresponde a un controlador para motor brushless de 350W y 15A, debido a que cumple satisfactoriamente con los requerimientos preestablecidos, además es de un coste inferior al modelo número 2.

3.6.1. Especificaciones del controlador seleccionado

Tabla 7-3: Parámetros y especificaciones del controlador seleccionado.

Parámetros	Especificación
Motor	Brushless
Material de carcasa	Aluminio
Voltaje nominal	36-48V
Potencia nominal	350W
Corriente	15A

Fuente: <https://www.biobike.es/producto-categoria/kits-de-conversion-a-bicicleta-electrica/componentes-kits-de-conversion/>

Realizado por: Edison Q & Bryan V, 2019

El controlador funciona perfectamente en pendientes, además proporciona una buena aceleración y velocidad.

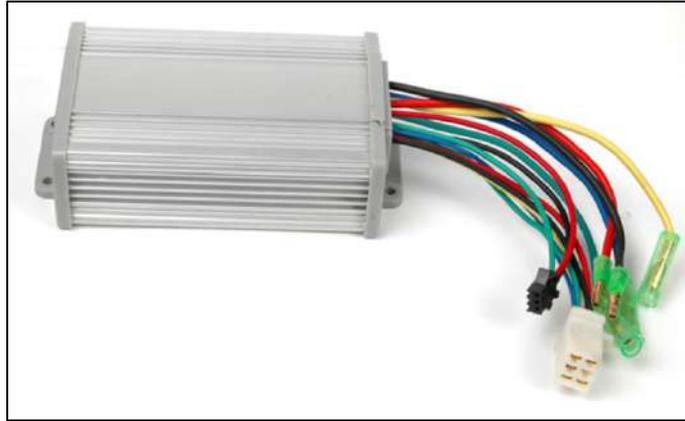


Figura 5-3: Controlador estándar para bicicletas eléctricas de 350W

Fuente: <https://www.biobike.es/producto/controlador-36v-350w-15a/>

3.7. Selección de batería.

Se opta por una única batería de ion litio debido a que una de las metas del prototipo es reducir su peso, dicha batería es muy ligera y se encargará de suministrar la energía necesaria al sistema.

A continuación, se determinará la capacidad de la batería, ya que esta no se debe descargar más allá del 80% para no afectar sus ciclos de trabajo.

Cálculo de la capacidad específica de la batería:

$$I_{bat} = \frac{P. motor * n. motor}{V de func.* \%descarga}$$

Donde:

I_{bat} = Capacidad específica de la batería

$P. motor$ = Potencia de motor

$n. motor$ = Eficiencia del motor

$V de func.$ = Voltaje de funcionamiento

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

$$I_{bat} = \frac{350W * 0,85}{36V * 0,8}$$

$$I_{bat} = 10,33 A$$

Teniendo en cuenta el peso de 3,17 kg se debe calcular la energía específica másica [Wh/Kg] mediante la siguiente ecuación:

$$W_m = \frac{V * I_{bat}}{P_{bat}}$$

$$W_m = \frac{36V * 10,33A}{3,17 kg}$$

$$W_m = 117,31 \frac{Wh}{Kg}$$

En la siguiente imagen podemos observar cómo se comporta la corriente y el deslizamiento de la misma de función del porcentaje de carga.

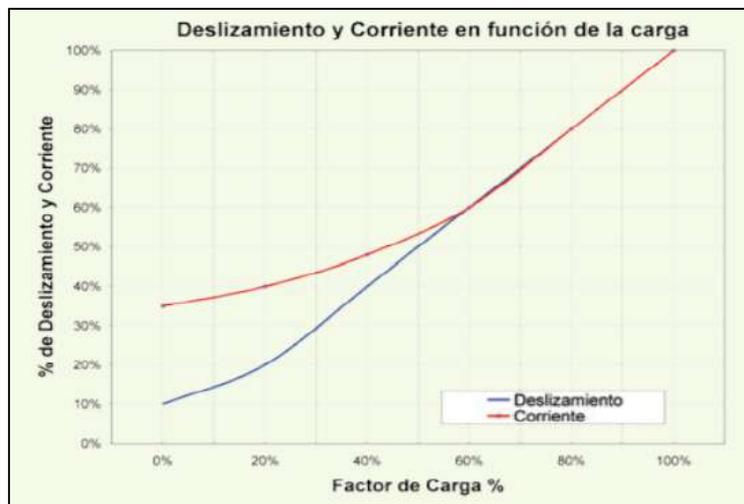


Gráfico 4-3: Comportamiento del deslizamiento y corriente.
Fuente: BUN-CA

En base a las especificaciones antes calculadas se procede a seleccionar la batería que permitirá el trabajo del motor, y de esa manera el prototipo pueda desempeñarse de manera óptima durante su funcionamiento.

A continuación, se detallan las características de la batería que se utilizará en el sistema.

Tabla 8-3: Especificaciones de la batería.

Voltaje Nominal	36 V
Voltaje de carga	39,2 V
Corte de voltaje de carga	39,2 V
Tensión de corte de descarga	30 V
Descarga de corte de Tensión	15 A
Máx corriente de descarga	30 A
Peso	3,17 kg
Capacidad del cargador	2,0 Ah

Fuente: <https://www.bikelec.es/bateria-litio-carcasa-silverfish>

Realizado por: Edison Q & Bryan V, 2019

3.7.1. Cálculo del tiempo de carga de cada batería.

Para calcular el tiempo de carga de una batería es necesario relacionar la capacidad de la batería con la capacidad del cargador de la misma, y se expresa de la siguiente manera:

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

La batería de 36 V presenta una capacidad de 9 Ah y el cargador de esta una capacidad de 2 A, al relacionarlo en la ecuación obtenemos el siguiente tiempo de carga:

$$T_{carga} = \frac{9 \text{ Ah}}{2 \text{ A}}$$

$$T_{carga} = 4,5 \text{ h}$$

3.7.2. Cálculo de la autonomía de la batería.

La autonomía se puede determinar al relacionar la corriente suministrada por la batería con el voltaje de la misma y la velocidad de circulación por la potencia del motor de la siguiente manera:

$$T_{au} = \frac{V * Vel * I}{P}$$

Donde:

T_{au} = es la autonomía de la batería en Km.

V = Voltaje de la batería.

I = Amperaje de la batería.

P = Potencia del motor.

Vel = Velocidad de circulación del prototipo.

En plano:

$$T_{au} = \frac{(36V * 20km/h * 10A)}{350 W}$$

$$T_{au} = 20,6 km$$

En pendiente del 12%:

$$T_{au} = \frac{(36V * 6km/h * 10A)}{350 W}$$

$$0T_{au} = 6,2 km$$

3.8. Selección de materiales para la construcción de la estructura.

3.8.1. Selección de alternativas de materiales

Para determinar el material más apropiado para la construcción de la estructura se establecieron algunas alternativas de tal forma que se cumpla satisfactoriamente las necesidades del ocupante. Los materiales propuestos son los siguiente:

- Tubo redondo de acero galvanizado.

- Tubo redondo de acero ASTM A36 negro.
- Tubo redondo de aluminio.

3.8.2. Criterios de evaluación

Costo: debido a que los costos de los materiales de construcción afectan de manera importante el precio final del producto se tomó en cuenta la conveniencia del material.

Peso específico: la estructura tiene que ser fabricada con materiales ligeros para facilitar su manipulación durante el acople del mismo, además el peso del sistema influye en la potencia que necesita el motor para impulsar la silla de ruedas.

Propiedades mecánicas: la estructura debe poseer la resistencia necesaria, de tal manera que garantice la integridad del prototipo y del sistema.

Tabla 9-3: Alternativas para la selección de materiales, propiedades mecánicas

Propiedad	Acero galvanizado	Acero ASTM A36	Aluminio 6061-T6
Peso específico (Kg/m ³)	7850	7850	2580
Límite elástico (Mpa)	204	250	275
Límite de tracción (Mpa)	357	400	310

Fuente: SOLIDWORKS

Realizado por: Edison Q & Bryan V, 2019

Soldabilidad: el material debe facilitar su unión a otros elementos por medio de soldadura sin necesidad de técnicas auxiliares, conservando sus propiedades mecánicas.

Adquisición: el material debe estar disponible en el mercado para evitar otros gastos innecesarios.

3.8.3. Matriz de selección

En la matriz de selección se clasificaron las alternativas propuestas de una forma jerárquica mediante criterios de evaluación que comprende un valor entre 0 y 1, cada material se evaluó con una calificación de 1 a 10, siendo el 10 lo más cercano a lo ideal

y el 1 lo más alejado, el resultado del producto entre el valor de priorización de cada criterio y la calificación es la ponderación para cada alternativa (Curisaca, 2018, p.29).

Tabla 10-3: Matriz de selección de materiales para la estructura.

Criterios	Acero galvanizado	Acero estructural negro	Aluminio
Costo (0.25)	8	9	7
Propiedades mecánicas (0.25)	9	9	10
Ligereza (0.15)	7	7	10
Ensamblaje (0.15)	10	10	7
Adquisición (0.20)	10	10	7
Puntaje total	8.8	9.05	8.2

Fuente: Autores

Realizado por: Edison Q & Bryan V, 2019

Al analizar los diferentes criterios en la matriz de selección se concluyó que el material más apropiado para la construcción de la estructura es el acero ASTM A36.

3.9. Análisis de componentes.

Por medio del software Solidworks se procede a realizar el análisis estructural de todos los componentes del prototipo. Las condiciones iniciales son las siguientes:

- Calibración del sistema de propulsión a una silla de ruedas estándar:



Figura 6-3: Vista lateral del prototipo acoplado a una silla de ruedas.

Fuente: Autores.

- Geometría del sistema de propulsión y sus dimensiones:



Figura 7-3: Dimensiones del sistema de propulsión es acoplada a la silla de ruedas.

Fuente: Autores.

Tabla 11-3: Dimensiones del sistema de propulsión.

Puntos	Denominación	Medidas
AB	Manillar-hombro	55 cm
AC	Manillar-espaldar	62 cm
CG	Suelo-hombro	95 cm
DE	Acople-mecanismo	29 cm
FG	Distancia entre centro	105 cm
AF	Inclinación del soporte principal	62 grados
H	Separación entre la rueda y la calzada	8 cm

Fuente: Autores

Realizado por: Edison Q & Bryan V, 2019

3.10. Análisis de la carga aplicada en el eje del motor.

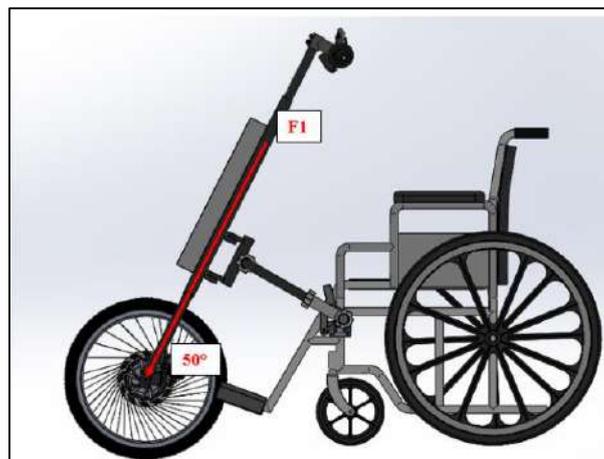


Figura 8-3: Carga aplicada sobre el eje del motor.

Fuente: Autores.

Para realizar el análisis de esfuerzos se determina las componentes X y Y de la carga aplicada.

$$\text{sen } 50^\circ = \frac{F1x}{F1}$$

$$F1x = F1 * \text{sen } 50^\circ$$

$$F1x = (15\text{kg})(9,8\text{m/s}^2) (\text{sen } 50^\circ)$$

$$F1x = 112,61 \text{ N}$$

$$\text{cos } 50^\circ = \frac{F1y}{F1}$$

$$F1y = F1 * \text{cos } 50^\circ$$

$$F1y = (15\text{kg})(9,8\text{m/s}^2)(\text{cos } 50^\circ)$$

$$F1y = 94,49 \text{ N}$$

- **Deformación total**

Deformación máxima: 0,10878 mm

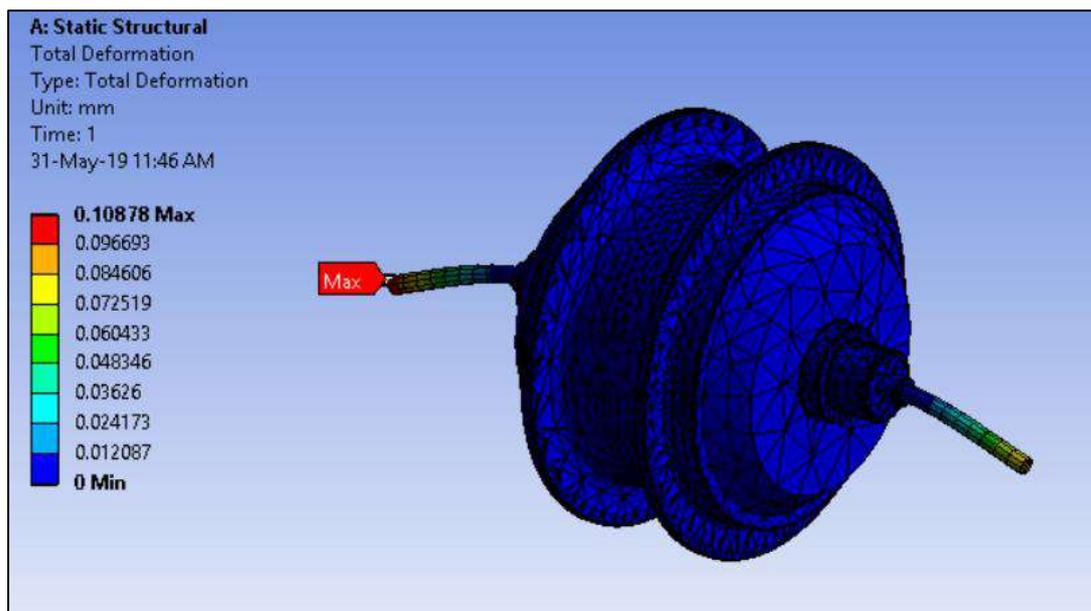


Gráfico 5-3: Deformación total en el eje del motor.

Fuente: Autores.

- **Tensión equivalente (Von Mises)**

Tensión máxima: 70,89 MPa

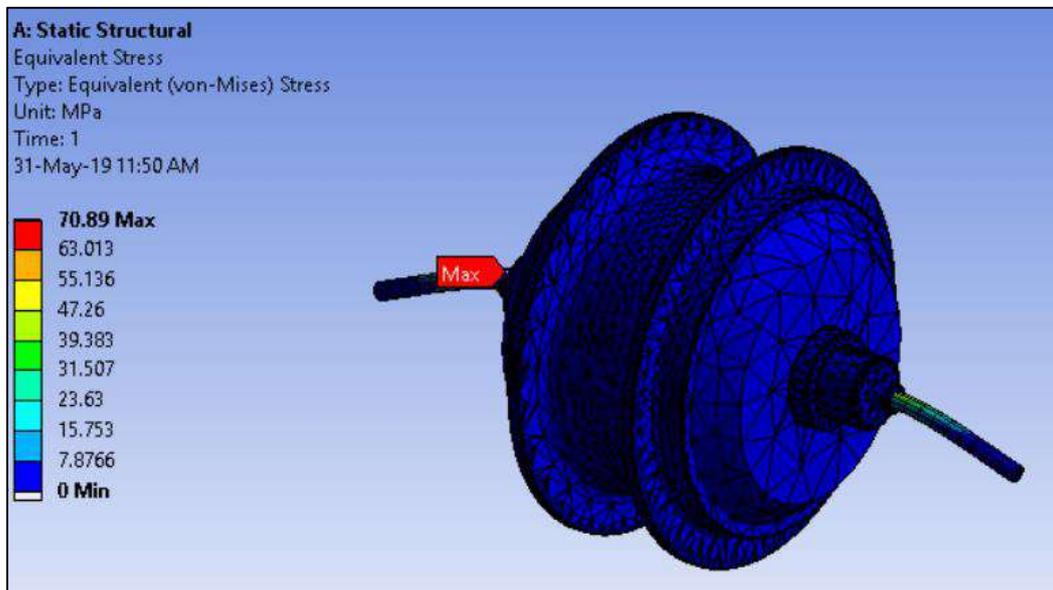


Gráfico 6-3: Tensión equivalente (Von Mises) en el eje del motor.

Fuente: Autores.

- **Factor de Seguridad**

N= 3,5266

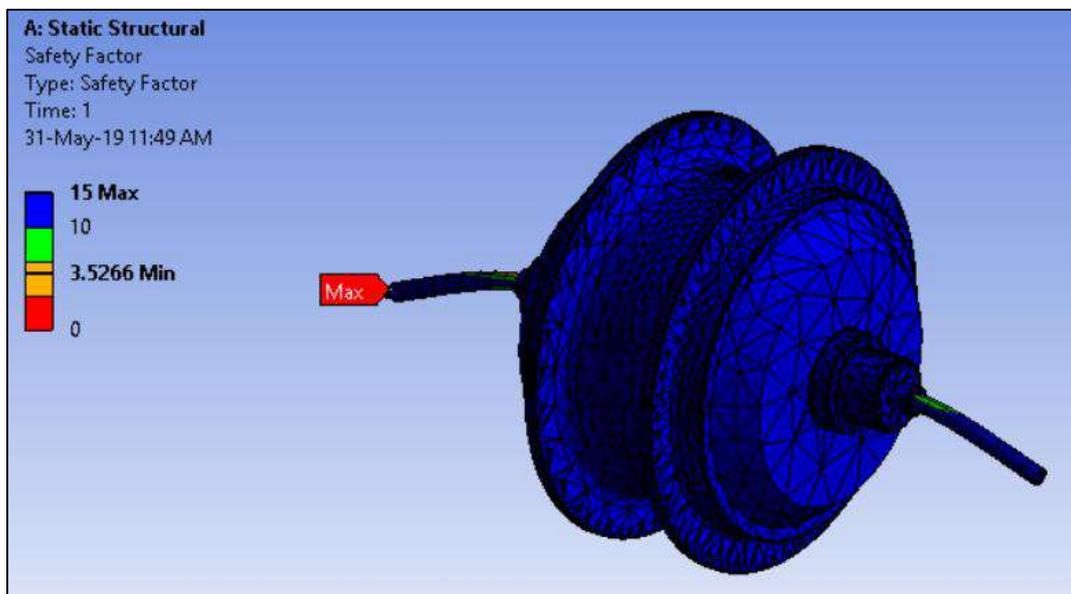


Gráfico 7-3: Factor de seguridad en el eje del motor.

Fuente: Autores.

Para determinar la fuerza que actúa sobre la estructura de apoyo de los brazos se traslada la fuerza de tracción por medio de sumatoria de momentos.

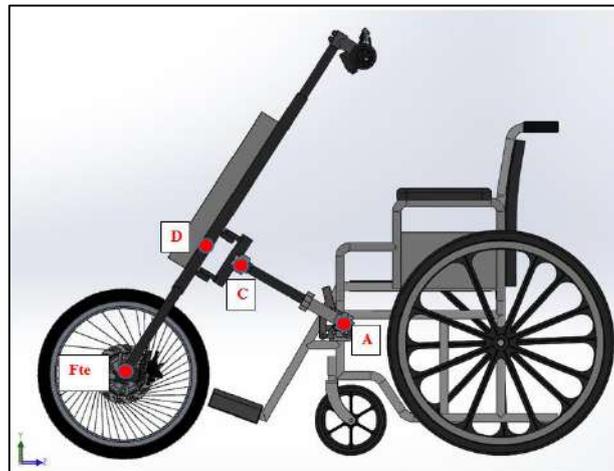


Figura 9-3: Traslado de fuerzas.

Fuente: Autores.

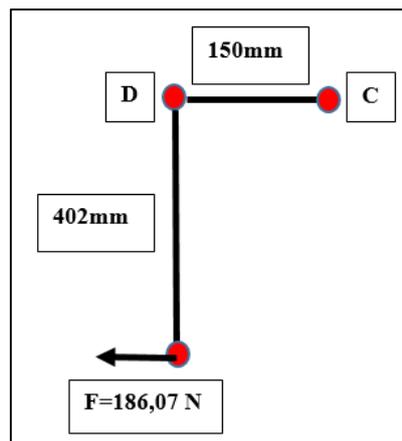


Figura 10-3: Diagrama de cuerpo en la estructura principal.

Fuente: Autores.

$$\sum M_c = 0$$

$$\sum M_c = M_D - F_c * 150mm$$

$$M_D - F_c * 150mm = 0$$

$$(186,07N * 402mm) - F_c * 150mm = 0$$

$$F_c = \frac{186,07N * 402mm}{150mm}$$

$$F_c = 498,67N$$

- **Deformación total**

Deformación máxima: 0,00019376 mm

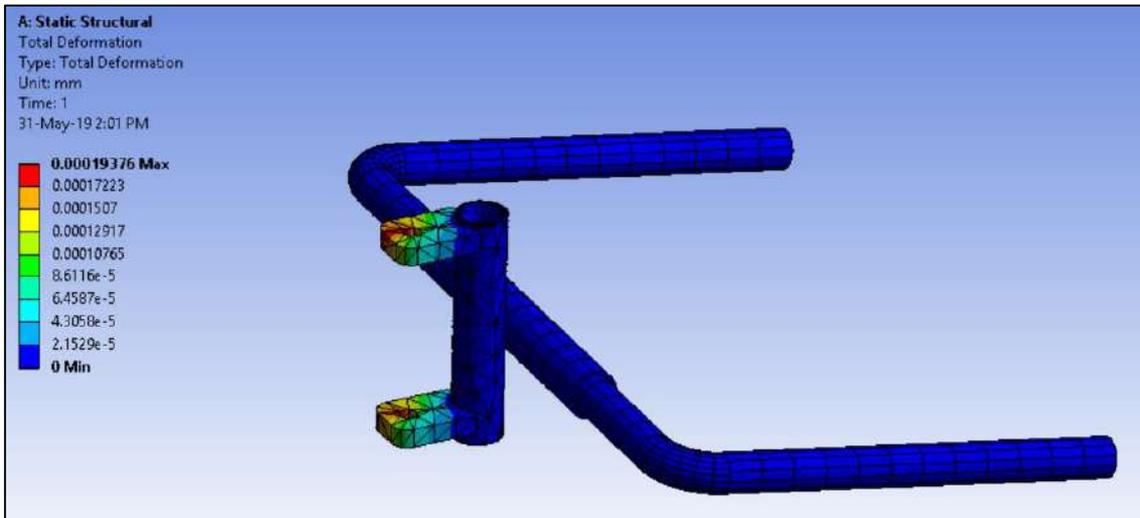


Gráfico 8-3: Deformación total en la estructura de acople a los brazos.

Fuente: Autores.

- **Tensión equivalente (Von Mises)**

Tensión máxima: 1,6974 MPa

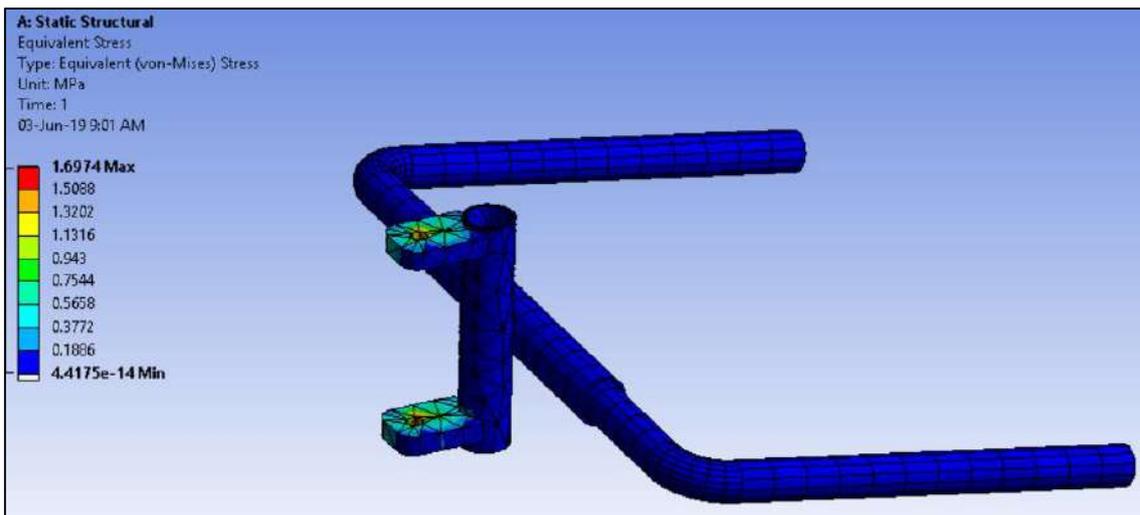


Gráfico 9-3: Tensión equivalente (Von Mises) en la estructura de acople a los brazos.

Fuente: Autores.

- **Factor de Seguridad**

N= 15

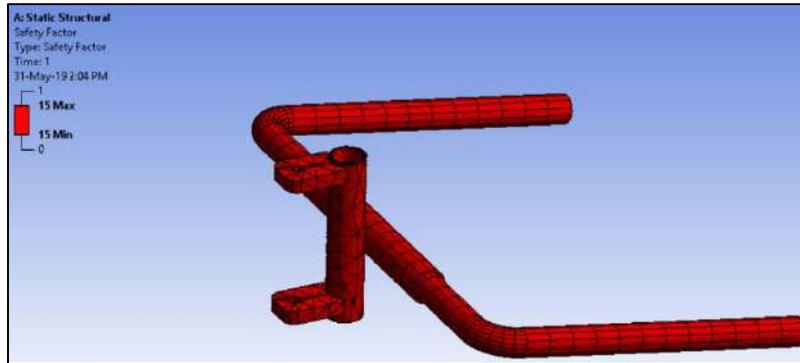


Gráfico 10-3: Factor de seguridad en la estructura de acople a los brazos.

Fuente: Autores.

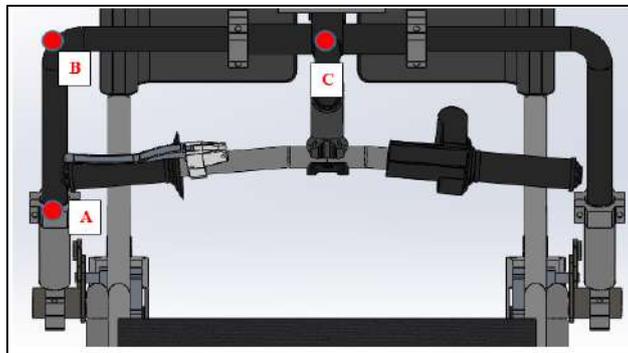


Figura 11-3: Traslado de fuerzas a través de los brazos.

Fuente: Autores.

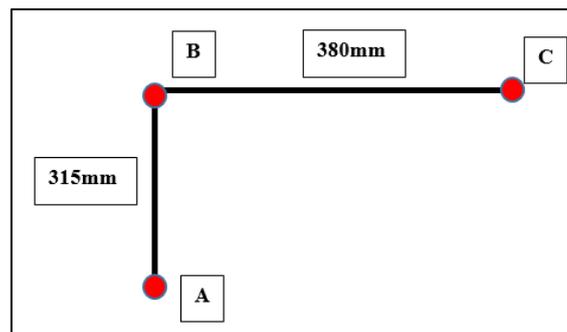


Figura 12-3: Diagrama de cuerpo libre del traslado de la fuerza.

Fuente: Autores.

$$\sum M_c = 0$$

$$\sum M_B = M_c - F_B * 380mm$$

$$(498,67N)(315mm) - F_B * 380mm = 0$$

$$F_B = \frac{498,67N * 315mm}{380mm}$$

$$F_B = 413,38 N = F_A$$

- **Deformación total**

Deformación máxima: 0,001832 mm

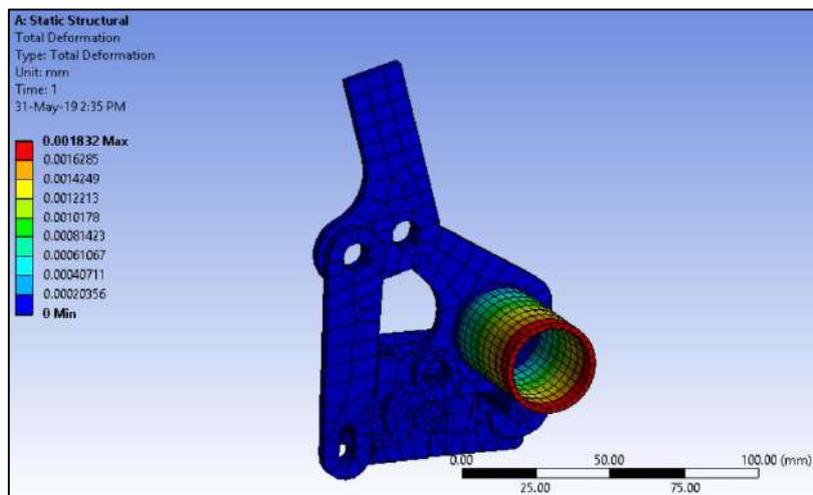


Gráfico 11-3: Deformación total en el elemento de acople a la silla.
Fuente: Autores.

- **Tensión equivalente (Von Mises)**

Tensión máxima: 7,447 MPa

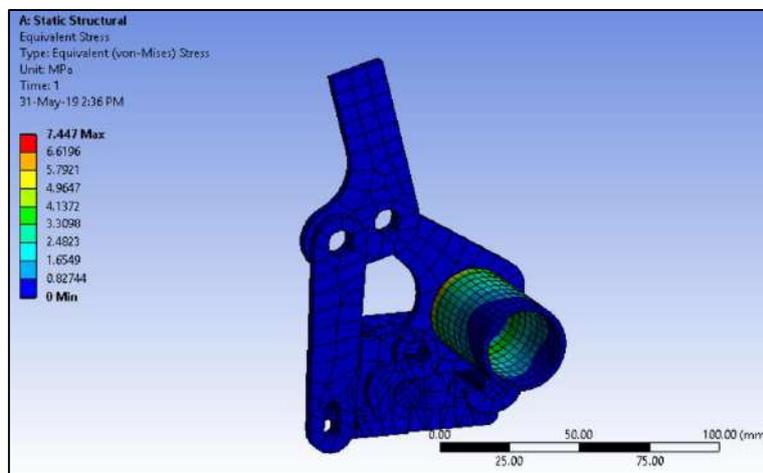


Gráfico 12-3: Tensión equivalente en el elemento de acople.
Fuente: Autores.

- Factor de Seguridad

N= 15

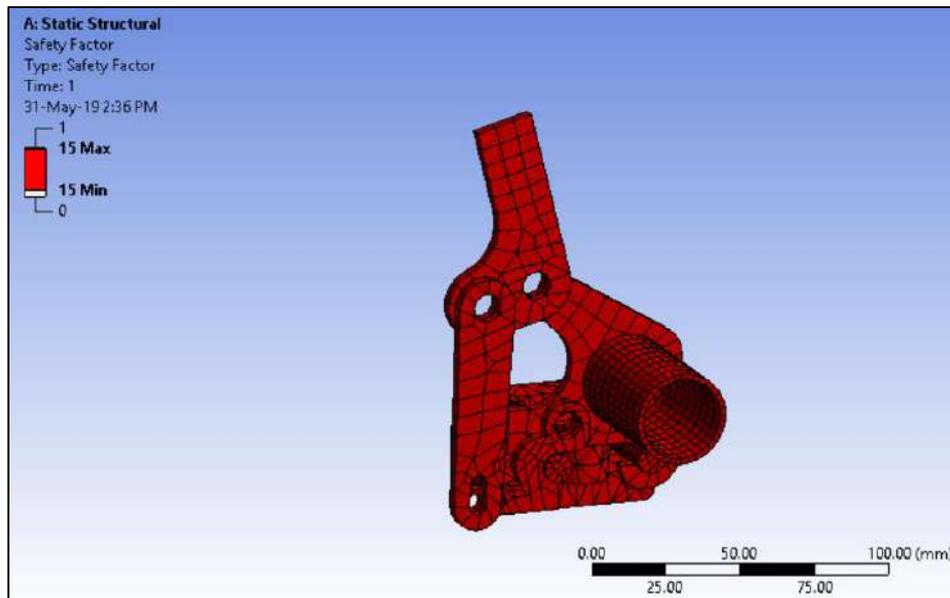


Gráfico 13-3: Factor de seguridad en el mecanismo de acople.

Fuente: Autores.

3.11. Construcción del sistema de propulsión.

3.11.1. Implementación del motor.

Teniendo en cuenta que es un motor eléctrico empleado en bicicletas eléctricas se procedió a acoplar dicho motor en un aro reforzado con aluminio de bicicletas de rin 16 y 36 agujeros, ya que debido a la disposición del motor el tamaño de este aro es ideal. El motor se acoplo al aro a través de rayos de motocicleta y finalmente se colocó un neumático motocross para bicicletas.



Figura 13-3: Acople del motor eléctrico aro.
Fuente: Autores.

3.11.2. Construcción de la estructura.

La estructura principal del sistema de propulsión se construyó a manera de una horquilla de bicicleta. Para ello, se cortó el tubo de acero estructural A36 y se unió mediante codos para obtener un acabado más estético al que se obtendría mediante el doblado de tubos, quedando de la siguiente manera:



Figura 14-3: Elemento para la construcción de la horquilla.
Fuente: Autores.

Posteriormente se unieron las distintas partes mediante soldadura TIC.



Figura 15-3: Soldadura de la horquilla.
Fuente: Autores.

Finalmente se procede a pulir la horquilla para eliminar el material en exceso y obtener un mejor acabado.



Figura 16-3: Pulido de la estructura a manera de horquilla.
Fuente: Autores.

3.11.3. Construcción de la dirección.

Para la construcción de la dirección se diseñó un mecanismo para acoplar y desacoplar el sistema de una manera sencilla y facilitando su manejo. Para el mismo se trabajó un eje en el torno para obtener los diámetros requeridos.



Figura 17-3: Torneado del eje para soporte de la dirección.

Fuente: Autores.

Una vez obtenidas las dimensiones necesarias se procedió a cortar el eje y soldarlo a la estructura principal de la siguiente manera:

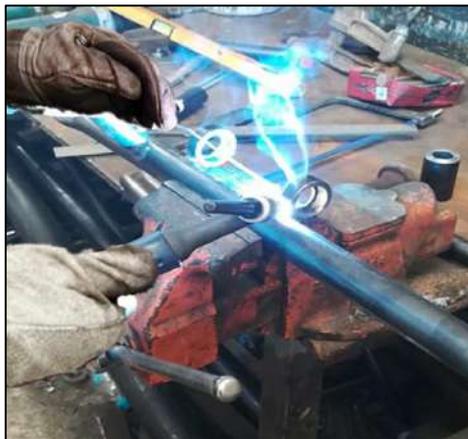


Figura 18-3: Soldadura de los soportes de la dirección.

Fuente: Autores.

El resultado final de la estructura principal es el siguiente:



Figura 19-3: Estructura principal del sistema.

Fuente: Autores.

El giro de la dirección se realiza mediante un eje que une la estructura de la horquilla con una estructura en T de la cual saldrán los brazos que se acoplarán a una silla de ruedas. Para la estructura en T se cortaron 2 tubos de acero estructural a uno de los cuales se le hizo una boca de pescado que permitirá realizar la soldadura en esta zona.



Figura 20-3: Estructura en T para sujeción de los brazos del sistema.

Fuente: Autores.

Posteriormente se soldó dicha estructura T.



Figura 21-3: Soldeo de la estructura en T.
Fuente: Autores.

Para unir la T a la estructura principal que se construyó soportes en platina, dándoles forma con una amoladora.



Figura 22-3: Corte de los soportes para unir la estructura principal a la T.
Fuente: <https://www.alamy.es/foto-corte-el-tubo-de-acero-inoxidable-amoladora-metalurgia-legazpi-gipuzkoa-euskadi-espana-59134771.html>

Posteriormente estos soportes se sueldan a la estructura T.



Figura 23-3: Soldeo de los soportes.
Fuente: Autores

El resultado final de la estructura es el siguiente:



Figura 24-3: Acople de la estructura principal de la rueda.
Fuente: Autores.

3.11.4. Sistema de frenos.

Para el sistema de frenos del prototipo se utilizaron frenos de discos usados en bicicletas para el mismo se acopló un soporte que permite fijar las mordazas a la estructura.



Figura 25-3: Adaptación de soporte para sujetar la mordaza de freno.
Fuente: Autores.

Una vez soldado la base o soporte en la estructura principal (trinquete), se colocó la mordaza y calibró la apertura de las pastillas para que no genere fricción y así poder alargar la vida útil del disco de freno y las pastillas.



Figura 26-3 Instalación del sistema de freno.
Fuente: Autores.

3.11.5. Caja para el controlador y la batería.

Para la elaboración de la caja se usó tol galvanizado con un espesor de 1,2 mm, luego para dar la forma a las tapas superior e inferior se utilizó una prensa de láminas de 50 toneladas.



Figura 27-3 Doblado y forma de la caja.
Fuente: Autores.

Una vez terminada se procedió a colocar la parte inferior de la caja en la estructura principal, y la tapa superior hacemos un orificio que coincida con plug de batería para poder cargarla.

Una vez terminadas de doblar se soldó con bronce los bordes, para evitar cortes al momento de la manipulación y con eso se logró un armado de las tapas más rígidas.



Figura 28-3: Instalación del controlador y la batería.
Fuente: Autores.

La caja va instalada en la parte delantera del soporte principal, mediante unas abrazaderas en U y un soporte para tubos redondos.



Figura 29-3: Instalación de la caja.
Fuente: Autores.

3.11.6. Proceso de elaboración de los codos de ajuste.

Se tomó un tubo de 1 pulgada con 2 mm de espesor y que tenga 45 cm de largo, luego se colocó en la dobladora a 45 grados, lo que se necesitan son un par de codos.

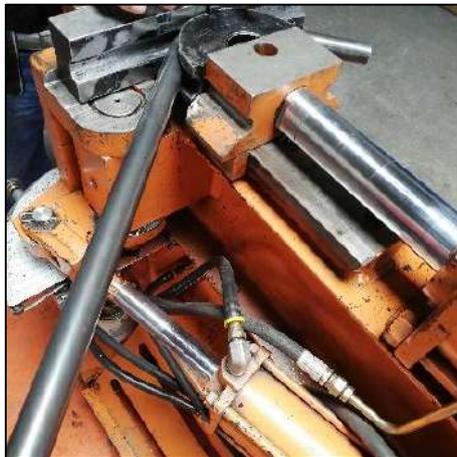


Figura 30-3: Doblado del tubo.
Fuente: Autores.

Estos codos nos permiten regular la distancia de la rueda motriz con el reposa pieza de la silla, además permite regular el ancho de los brazos para ajustarse a diferentes sillas de ruedas. La distancia dependerá del tipo de silla que la persona esté ocupando en ese momento.



Figura 31-3: Colocación de los codos.
Fuente: Autores.

3.11.7. Brazos de regulación.

Para el proceso de elaboración de estos brazos de regulación, se tomó un tubo de 1 ¼ de pulgada con 2 mm de espesor con una longitud de 15 cm.



Figura 32-3: Brazo de sujeción.
Fuente: Autores.

En estos brazos van colocados los codos y el mecanismo de sujeción, que permite regular la apertura o inclinación del mecanismo de acople en la silla de ruedas. Para que este sistema se adapte al acople se soldaron unas abrazaderas mecanizadas en un extremo del brazo y en el otro lado se hizo una muesca, la cual permite que el ajuste sea el adecuado en relación al diámetro de los tubos que se utilizaron en los codos, y ésta va a permitir la regulación de la distancia de todo el sistema de sujeción.

3.11.8. Mecanismo de sujeción.

Para construir el mecanismo, se elaboró un diseño en CAD para ver los esfuerzos cortantes y cargas que debe soportar en los distintos agujeros y superficies de apoyo. Una

vez hecho el análisis y las pruebas de seguridad se procedió a seleccionar el espesor de la platina a trabajar que fue de 4 mm.

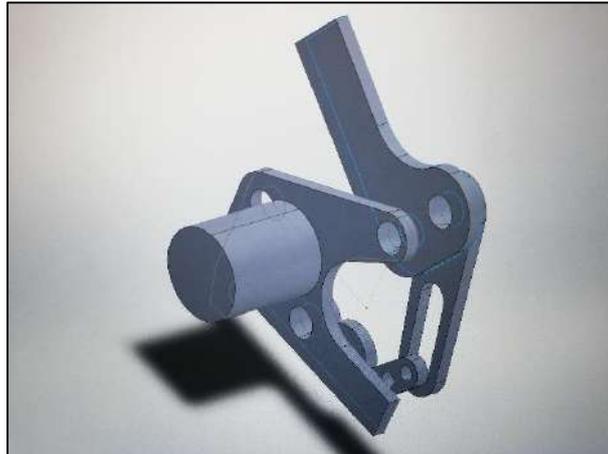


Figura 33-3: Diseño en CAD.

Fuente: Autores.

El proceso que se utilizó es corte por láser, por las condiciones del material y el coste al momento de producir varios de estos elementos independientes.



Figura 34-3: Despiece del mecanismo de sujeción.

Fuente: Autores.

En el cuerpo principal del mecanismo se soldó un tubo de 1 ¼ de pulgada con 2 mm de espesor y una longitud de 6 cm, con esto se puede variar la altura de la rueda delantera de la silla.

Para el ensamble de los distintos elementos del mecanismo se utilizaron pernos y tuercas de seguridad, porque con el constante movimiento las tuercas suelen aflojarse. Al momento de apretar se debe dejar una tolerancia mínima para que las uniones no queden

muy ajustadas, esto es para que la persona pueda manipular el mecanismo con mucha facilidad.



Figura 35-3: Ensamble de mecanismo.
Fuente: Autores.

3.11.9. Abrazadera de ajuste.

El diseño de las abrazaderas se realizó en un software CAD, para poder trabajarlo en una máquina CNC.

En el proceso de fabricación de las abrazaderas se hizo de una placa de acero, para tener un mayor apriete en las zonas de regulación. Estos elementos se utilizaron en la barra central del propulsor anclable.



Figura 36-3: Colocación de las abrazaderas.
Fuente: Autores.

Se colocaron las abrazaderas en los distintos puntos de regulación, para poder ajustar las dimensiones (ancho) y la distancia del reposa pies en la silla de ruedas empleada.



Figura 37-3: Instalación de la barra central.
Fuente: Autores.

3.11.10. *Pintado y ensamblado del sistema propulsor.*

Antes de pintar se pasó una lija fina para poder retirar el óxido, rebabas y cualquier partícula de grasa, con el fin de que la pintura cubra todas las áreas y así tener un acabado estético mejor.

3.11.11. *Acoplamiento del sistema a la silla de ruedas*

Para realizar el ajuste de todo el sistema, se verificó que la altura de la rueda delantera de la silla es el adecuado para circular en zonas urbanas.

Con una altura no inferior a los 6 cm se realizaron los ajustes correspondientes, con el nivel de altura seleccionado se puede circular con mucha seguridad.



Figura 38-3: Sistema de propulsión acoplado a la silla de ruedas.

Fuente: Autores.

3.12. Pruebas de funcionamiento.

Las pruebas de funcionamiento se realizaron con la batería a carga completa para obtener resultados más precisos, en el mismo se incluye el peso de la silla de ruedas y de su ocupante (120 kg en total), dicha pruebas se realizados en una superficie plana de asfalto con una pendiente de 4 grados.

Prueba de aceleración:

La velocidad se calcula mediante la siguiente fórmula: $Vf=dt$

Donde:

$$Vf = \text{La velocidad final.} \left(\frac{Km}{h} \right)$$

$d = \text{la distancia en m.}$

$t = \text{tiempo a recorrer en s.}$



Figura 39-3: Ensayos de campo.

Fuente: Autores.

Tabla 12-3: Tiempos al recorrer 20 m de distancia.

Número de prueba	Tiempo
1	3,58 s
2	3,31 s
3	3,87 s
4	3,43 s
5	3,75 s

Fuente: Autores

Realizado por: Edison Q & Bryan V, 2019

$$V_f = \frac{20m}{3,59s}$$

$$V_f = 5,57 \text{ m/s}$$

Al obtener la velocidad se calcula la aceleración mediante la siguiente ecuación:

$$a = \frac{V_f - V_o}{t_f - t_o}$$

En donde:

$$a = \text{Aceleración} \left(\frac{m}{s^2} \right)$$

$V_f = \text{velocidad final}$

$V_o = \text{velocidad inicial}$

$t_f = \text{tiempo final del recorrido}$

$t_0 =$ tiempo inicial del recorrido

$$a = \frac{5,57 \frac{m}{s} - 0}{3,59s - 0}$$

$$a = 1,55 \text{ m/s}^2$$

Se ha podido determinar que la aceleración con la que se va a movilizar el equipo es de $1,55 \text{ m/s}^2$.

Tiempo máximo de uso con la batería al 100%: 4 horas.

Distancia máxima de uso con la batería al 100%: 16,4 km.

CAPÍTULO IV

4. COSTOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO.

4.1. Costos directos

En el diseño y construcción de un prototipo anclable para una silla de ruedas, se tomará en cuenta como costos directos aquellos que intervienen en la construcción del prototipo, los cuales son costos de materiales, mano de obra y equipos.

Tabla 1-4: Costo del sistema motriz.

ELEMENTO	ESPECIFICACIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO [USD/U]	PRECIO TOTAL [USD]
Motor eléctrico	36V, 350W F.A	1	232,45	232,45
Controlador	36V, 15A SY-01	1	90,65	90,65
Acelerador	Modelo dash	1	25,89	25,89
Cargador	110-240V	1	40,61	40,61
Batería	Ion litio 36V, 9AH	1	380,00	380,00
Freno electrónico	Modelo dash	1	10,00	10,00
Rueda	16"x2,125	1	4,00	4,00
Neumático	Tubo de caucho	1	4,50	4,50
Rin	16"	1	8,00	8,00
Radios	36x9cm	32	15,00	15,00
Kit de freno	Shimano	1	45,00	45,00
			TOTAL	856,10

Fuente: Autores

Realizado por: Edison Q & Bryan V, 2019

Tabla 2-4: Costo de fabricación del sistema anclable y pivote.

ELEMENTO	ESPECIFICACIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO [USD/U]	PRECIO TOTAL [USD]
Plancha 5cmx5cmx9mm	Astm A131	2	2,00	4,00
Plancha 10cmx20cmx3mm	Astm A-36	2	15,00	30,00
Rodamientos	Estándar	2	3,50	7,00
Tubo redondo 1 1/4"x2mm x1m	Tubo estructural A-36	1	1,50	1,50
Tubo redondo 1"x2mm x1m	Tubo estructural A-36	1	1,00	1,00
Eje de acero transmisión Ø 10mm	Acero Inox A-36 15cm	1	1,70	1,70
Abrazaderas de manubrio de moto	Aluminio 6061-T6	2	10	20
Anillo de retención	DIN 471 10mm	20	0,30	6,00
			TOTAL	71,20

Fuente: Autores

Realizado por: Edison Q & Bryan V, 2019

Tabla 3-4: Costo del sistema de dirección.

ELEMENTO	ESPECIFICACIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO [USD/U]	PRECIO TOTAL [USD]
Timón	Aluminio	1	10,00	10,00
Abrazadera	Aluminio	1	4,00	4,00
Tubo redondo 1"x1.2mm x 1 m	Aisi 304	1	3,00	3,00
Tubo redondo 1 1/4"x2mm x 1 m	Tubo estructural A-36	1	1,50	1,50
Plancha tol 1.2mmx1mx1m	Astm A653	1	2,00	2,00
Abrazadera en U	Aisi 304	2	3,50	7,00
Potencia ZOOM	Aluminio 9-10Nm E:70mm+7°	1	12,00	12,00
Codo de 3 cm	Aisi 304	2	4,50	9,00
			TOTAL	51,20

Fuente: Autores

Realizado por: Edison Q & Bryan V, 2019

Tabla 4-4: Costo de alquiler de equipos.

COSTOS DIRECTOS			
Cantidad	No. Horas	Costo unitario	Costo total [USD]
Amoladora	18	3	54
Dobladora de tubos	1	5	5
Taladro	2	2	4
Soldadora eléctrica	1	10	10
Soldadora Tic	3	7	21
Torno	1	2	2
TOTAL			96

Fuente: Autores

Realizado por: Edison Q & Bryan V, 2019

Tabla 5-4: Costos de mano de obra.

COSTOS DIRECTOS			
Descripción	No. Horas	Costo/Hora	Costo total [USD]
Técnico mecánico	15	6	90
Técnico soldador	5	25	125
Técnico tornero	1	5	5
Técnico en pintura	2	6	12
TOTAL			232

Fuente: Autores

Realizado por: Edison Q & Bryan V, 2019

4.2. Costos indirectos

Los costos indirectos se refieren a aquellos gastos empleados en la elaboración del prototipo, los cuales no influyen directamente a los resultados alcanzados.

Tabla 6-4: Costos de indirectos.

COSTOS INDIRECTOS			
Cantidad	Descripción	Costo unitario	Costo total [USD]
1	Transporte	150,00	150,00
1	Impresiones y copias	100,00	100,00
1	Imprevistos	80,00	80,00
1	Otros gastos	50,00	50,00
TOTAL			380

Fuente: Autores

Realizado por: Edison Q & Bryan V, 2019

4.3. Costos totales

Representa la suma de los costos directos e indirectos, se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 7-4: Costos de total de fabricación del sistema propulsor anclable.

COSTOS TOTALES	
Costo del sistema motriz	856,10
Costo de fabricación del sistema anclable y pivote	51,20
Costo del sistema de dirección	71,20
Costo de alquiler de equipos	96
Costo de mano de obra	232
Costo total directo	1286,50
Costo total indirecto	380
Costo total	1686,50

Fuente: Autores

Realizado por: Edison Q & Bryan V, 2019

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Conclusiones.

Se fundamentizó los principios de anclaje y de propulsión mediante investigación bibliográfica y de campo determinando los parámetros necesarios para el desarrollo del sistema propulsor.

Se diseñó la estructura del sistema de propulsión en SOLIDWORKS, en el cuál se aplicaron las cargas a las que se somete el prototipo durante su funcionamiento y se realizó la simulación, en la cuál se demostró que el esfuerzo al que están sometidos los elementos del sistema son inferiores a la resistencia de los materiales, la deformación que se presenta es mínima y el factor de seguridad mínimo es de 3,5266, por lo que se garantiza su fiabilidad.

Se construyó la estructura del sistema principalmente con tubo redondo de una pulgada 1 cuarto de 2 milímetros de espesor de acero estructural ASTM A36, ya que este presenta propiedades mecánicas apropiadas y su precio es menor que los otros materiales analizados. Por otro lado, el acero ASTM A36 facilita los procesos de manufacturas como son: la soldadura, corte y doblado. Para el mecanismo de acople se utilizó una lámina de acero de 4 milímetros de espesor, debido a que este garantiza la integridad del prototipo durante su funcionamiento.

Se validó el sistema de propulsión mediante pruebas de campo, en las cuales el prototipo superó la pendiente más pronunciada de la ruta que es de 12% con una velocidad promedio de 5 km/h demostrando así que funcionará correctamente en vías de menor inclinación. En las pruebas realizadas en superficies planas se alcanzó una velocidad máxima de 20 km/h y al recorrer 20 m alcanzó una velocidad de 5,57m/s con una aceleración de $1,5 \text{ m/s}^2$, dicha aceleración se encuentra en el rango adecuado para no afectar la integridad del usuario.

Recomendaciones.

El arranque del motor tiene que hacerse de manera lenta para evitar posibles daños a la batería que afecten su autonomía y vida útil.

El acoplamiento del eje del motor con la horquilla tiene que estar ajustado a fin de que este no gire con la rueda, ya que se pueden dañar las conexiones del motor eléctrico.

Hacer un mapeo de rutas para determinar las más apropiadas para el óptimo funcionamiento del sistema, además conducir con debida precaución y cumplir las normas de tránsito vigentes para evitar posibles accidentes.

Para futuros proyectos considerar el uso de materiales más ligeros, con el fin de reducir el peso del prototipo para facilitar su manipulación durante el acople, además de aprovechar al máximo la potencia del sistema de propulsión con un menor consumo de energía.

BIBLIOGRAFÍA.

AHMSA. *Manual de diseño para la construcción con acero.* [En línea]. México, 2013, pp.3. [Consulta: 21 enero 2019]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/156581672/Manual-de-diseno-para-la-construccion-con-acero-Altos-hornos-de-mexico>

ANDRINO CEBRIÁN, Juan Antonio. *Tipos de propulsión. Mecánica y entrenamiento simple de automóviles.* [En línea]. España, 2016. pp.31. [Consulta: 23 enero 2019]. Disponible en: <http://www.dgt.es/Galerias/seguridad-vial/formacion-vial/cursos-para-profesores-y-directores-de-autoescuelas/XVII-Curso-de-Profesores/Mecnica-y-entrenamiento-simple-del-automvil-Ed.-2014.pdf>

ASTO GUAMÁN, Cristian Robinson; & VACA GUEVARA, Oscar Roberto. *Diseño e implementación del sistema de propulsión y control de un vehículo monoplaza para la movilidad de personas en silla de ruedas.* [En línea] (Tesis). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería Automotriz. Riobamba-Ecuador: 2018. pp.37. [Consulta: 25 enero 2019]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/9997>

BIKELEC. *Acelerador o asistencia al pedaleo.* [En línea]. España: 20 enero, 2015. [Consulta: 11 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.bikelec.es/blog/acelerador-o-asistencia-al-pedaleo/>.

BUITRÓN SÁNCHEZ, Horacio. *Introducción al control de motores eléctricos.* 2ª. ed. México, 2000, pp.10.

CLR. *Motores de corriente continua y alterna: estudio y selección.* [En línea]. España, 2017. [Consulta: 13 febrero 2019]. Disponible en: <https://clr.es/blog/es/motores-corriente-continua-alterna-seleccion/>

CONCEMFE. *La elección de la silla de ruedas.* [En línea]. España, 2014. [Consulta: 15 febrero 2019]. Disponible en: <http://www.cocemfecyl.es/index.php/discapacidad-y-tu/65-las-sillas-de-ruedas>

CURISACA CRUZ, Jhonn Israel; & LÓPEZ ZAMBRANO, Damián Euclides. *Diseño y construcción del bastidor y sistemas mecánicos de un vehículo monoplaza para*

la movilidad de personas en silla de ruedas. [En línea] (Tesis). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería Automotriz. Riobamba-Ecuador: 2018. pp.29. [Consulta: 19 febrero 2019]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/9996>

FARINA, Alberto Luis. *Motores eléctricos trifásicos: usos, componentes y funcionamiento*. [En línea]. Abril, 2018. p.68. [Consulta: 6 febrero 2019]. Disponible en: https://www.editores-srl.com.ar/sites/default/files/ie330_farina_motores_electricos.pdf

GONZÁLEZ, Cesar. *Análisis técnico de los diferentes tipos de baterías comercialmente disponibles para su integración en el proyecto de una microrred aislada*. [En línea]. Colombia, 2015. pp. 33-34. [Consulta: 15 de mayo de 2019]. Disponible en: <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/3663>

GORGUES, José. *Selección y adaptación de sillas de ruedas convencionales*. [En línea]. España: septiembre, 2005. p.150 [Consulta: 6 febrero 2019]. Disponible en: <http://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-pdf-13078588>

HERNÁNDEZ RIESCO, Germán. *Manual del soldador*. Madrid-España: M-44.384, 2007, pp. 8-501.

IPAC. *Plancha Laminada en Caliente*. [En línea]. Ecuador, 2014. [Consulta: 7 febrero 2019]. Disponible en: <http://www.ipac-acero.com/producto-detalle.php?id=20>

KALPAKJIAN, Serope; & SCHMID, Steven. *Manufactura, ingeniería y tecnología*. 5a. ed. México: Pearson Educación, 2008, pp. 1195.

LA HORA. *La accesibilidad, aún un problema para personas con discapacidad*. [En línea]. Ecuador: 21 octubre, 2016. [Consulta: 6 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.lahora.com.ec/noticia/1101994754/la-accesibilidad-an-un-problema-para-personas-con-discapacidad>

LEECO STEEL. *Lámina de acero A36*. [En línea], 2012. [Consulta: 8 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.leecosteel.com/es/a36-steel-plate.html>

LOWRY, John. *Electric Vehicle Technology Explained*. USA, John Wiley & Sons Ltd, 2003.

NAVARRO, Ernesto. *EL CAD. Documenta.* [En línea], 2005. pp.1. [Consulta: 13 febrero 2019]. Disponible en: http://documenta.ftp.catedu.es/tut_Cad_2D/cad.pdf

OERLIKON. *Manual de soldadura y catálogo de productos.* 7a ed. Perú: Soldexa, 2008, pp 34.

OMS. *Discapacidades.* [En línea], 2019. [Consulta: 8 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.who.int/topics/disabilities/es/>

OMS. *Pautas para el suministro de sillas de ruedas manuales en entornos de menores recursos.* 1a. ed. Ginebra-Suiza, WHO press, 2008. pp 21-30.

PEER. *Manual Técnico. Motores eléctricos.* 1a ed. San José-Costa Rica: BUN-CA, 2007, pp.6.

ROJAS LAZO, Oswaldo; & ROJAS ROJAS, Luis. *Diseño asistido por computador.* [En línea], 2006. [Consulta: 13 febrero 2019]. Disponible en: http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/indata/vol9_n1/a02.pdf

TÉLLEZ, Rafael. *Manual del propietario. Bicicleta eléctrica.* [En línea]. Ecuador: 8 enero, 2016. pp.8-9. [Consulta: 8 febrero 2019]. Disponible en: http://electrobike.com.mx/manuales/Manual_del_propietario_general.pdf

VARGAS SHIGUANGO, Wilson Mauricio. *Diseño y construcción del sistema de propulsión de un triciclo monoplaza eléctrico para personas con discapacidad en sus extremidades inferiores.* [En línea]. (Tesis). (Ingeniería) Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Escuela de Ingeniería Automotriz. Latacunga-Ecuador: 2015. pp.33-34. [Consulta: 13 febrero 2019]. Disponible en: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/10602/1/T-ESPEL-MAI-0533.pdf>

