



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA MECÁNICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA
IMPULSOR ACOPLABLE A SILLAS DE RUEDAS PARA
PERSONAS CON DISCAPACIDAD DE MIEMBROS INFERIORES
PARA MOVILIDAD EN ÁREAS URBANAS**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTORES:

JUAN CARLOS CHAMBA BERMEO

SANTIAGO JOSÉ TOLEDO CAMPOVERDE

Riobamba – Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA MECÁNICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA
IMPULSOR ACOPLABLE A SILLAS DE RUEDAS PARA
PERSONAS CON DISCAPACIDAD DE MIEMBROS INFERIORES
PARA MOVILIDAD EN ÁREAS URBANAS**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTORES: JUAN CARLOS CHAMBA BERMEO

SANTIAGO JOSÉ TOLEDO CAMPOVERDE

DIRECTOR: Ing. SÓCRATES MIGUEL AQUINO ARROBA

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Juan Carlos Chamba Bermeo y Santiago José Toledo Campoverde

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

Nosotros, Juan Carlos Chamba Bermeo y Santiago José Toledo Campoverde, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 13 de junio de 2023



Juan Carlos Chamba Bermeo
1723682819



Santiago José Toledo Campoverde
2200051007

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA MECÁNICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA IMPULSOR ACOPLABLE A SILLAS DE RUEDAS PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD DE MIEMBROS INFERIORES PARA MOVILIDAD EN ÁREAS URBANAS**, realizado por los señores: **JUAN CARLOS CHAMBA BERMEO y SANTIAGO JOSÉ TOLEDO CAMPOVERDE**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 _____	2023-06-13
Ing. Sócrates Miguel Aquino Arroba DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	 _____	2023-06-13
Ing. Geovanny Guillermo Novillo Andrade ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	 _____	2023-06-13

DEDICATORIA

Dedico este triunfo a Dios que supo guiarme en el camino para poder obtener este logro, a mis padres quienes supieron darme su aliento, apoyo, y demás esfuerzos que en conjunto supieron afrontar a mi lado a lo largo de mi carrera universitaria, los cuales conllevaron el poder culminar este objetivo. A mis hermanos que de igual manera representaron una gran fuente de ayuda y motivación en esta lucha.

Juan

Este trabajo lo dedico con especial entusiasmo a mis padres Danilo y Mirian que con su apoyo incondicional y su acompañamiento enfrentaron conmigo este gran reto, permitiendo que yo esté logrando esta meta tan importante. A mis hermanos y amigos de universidad que con su compañía han hecho el camino universitario más ameno.

Santiago

AGRADECIMIENTO

Expreso mis más grandes agradecimientos a Dios por todo lo que me ha dado en el transcurso no solo de mi carrera, si no de mi vida, destacando la sabiduría y constancia en los retos presentados, hasta la culminación de este trabajo. A mis familiares quienes estuvieron brindándome su ayuda en los momentos más difíciles, en especial a mis padres por los esfuerzos y sacrificios que se adjudicaron el afrontar a mi lado, por ser mi inspiración y motivación para poder conseguir este logro. A cada una de esas personas que se presentaron en mi vida y de manera directa o indirecta contribuyeron en cada uno de los desafíos presentados en mi carrera universitaria.

Juan

Agradezco a Dios por ser mi pilar espiritual durante toda mi vida y más aún en mi carrera estudiantil, a mis padres por ser las personas que aportaron todo de ellos para lograr culminar esta carrera. A mis hermanos por ser un apoyo incondicional en esta difícil, pero importante etapa de vida. A mis amigos y demás personas que de alguna u otra manera aportaron con su granito de arena a este logro. A mis familiares en general que siempre me tendieron la mano cuando la necesitaba.

Además, quiero expresar mi agradecimiento más sincero a mis docentes de ingeniería mecánica por ser la guía y enseñanza correcta en esta etapa de estudiante

Santiago

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvii
RESUMEN.....	xviii
SUMMARY.....	xix
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1.	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1.	Antecedentes.....	2
1.2.	Delimitación.....	3
1.2.1.	<i>Delimitación espacial</i>	3
1.2.2.	<i>Delimitación sectorial</i>	3
1.3.	Planteamiento del problema.....	3
1.4.	Justificación.....	4
1.4.1.	<i>Justificación teórica</i>	4
1.4.2.	<i>Justificación económica</i>	4
1.4.3.	<i>Justificación social</i>	4
1.5.	Objetivos.....	5
1.5.1.	<i>Objetivo general</i>	5
1.5.2.	<i>Objetivos específicos</i>	5

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO	6
2.1.	Discapacidad motriz.	6
2.2.	Silla de ruedas	6
2.3.	Tipos de sistemas de propulsión	7
2.4.	Motor eléctrico DC	8
2.5.	Parámetros que intervienen en la selección de motores	8
2.5.1.	<i>Peso</i>	9
2.5.2.	<i>Velocidad</i>	9
2.5.3.	<i>Pendiente</i>	9
2.5.4.	<i>Potencia</i>	10
2.6.	Controlador electrónico de velocidad	11
2.7.	Frenos automáticos para sillas de ruedas	11
2.8.	Tipos de mecanismos	12
2.9.	Batería	12
2.9.1.	<i>Baterías de plomo acido</i>	12
2.9.2.	<i>Baterías de níquel-cadmio</i>	13
2.9.3.	<i>Baterías de litio</i>	14
2.10.	Acero ASTM A 36	15
2.11.	Aluminio 6061 T6	15
2.12.	Dinámica multi cuerpo	16
2.13.	Despliegue de la función de la calidad (QFD)	17
2.14.	Metodología	17
2.15.	Matriz morfológica	22

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO.....	24
3.1.	Definición del producto.....	24
3.2.	Análisis de competencias	26
3.2.1.	<i>Competencia 1: Silla de ruedas con sistema de propulsión anclable</i>	<i>27</i>
3.2.2.	<i>Competencia 2: Silla de ruedas con sistema de control de comandos de voz</i>	<i>28</i>
3.2.3.	<i>Competencia 3: Diseño de silla de ruedas motorizada a bajo costo</i>	<i>28</i>
3.3.	Desarrollo de la casa calidad.....	29
3.3.1.	<i>Voz del usuario</i>	<i>29</i>
3.3.2.	<i>Voz del ingeniero.</i>	<i>30</i>
3.3.3.	<i>Despliegue de la función calidad (casa calidad)</i>	<i>30</i>
3.3.4.	<i>Especificaciones técnicas</i>	<i>32</i>
3.4.	Diseño conceptual.....	34
3.4.1.	<i>Análisis funcional</i>	<i>34</i>
3.4.2.	<i>Matriz morfológica</i>	<i>35</i>
3.4.3.	<i>Generación de Alternativas</i>	<i>36</i>
3.4.3.1.	<i>Alternativa 1.....</i>	<i>36</i>
3.4.3.2.	<i>Alternativa 2.....</i>	<i>36</i>
3.4.3.3.	<i>Alternativa 3.....</i>	<i>37</i>
3.5.	Evaluación de alternativas	37
3.6.	Diseño del mecanismo impulsor.....	40
3.6.1.	<i>Diagrama de procesos de diseño y construcción del prototipo</i>	<i>40</i>
3.6.2.	<i>Parámetros de diseño</i>	<i>40</i>
3.6.3.	<i>Fuerzas que actúan sobre el sistema</i>	<i>41</i>
3.6.3.1.	<i>Cálculo de la fuerza de rozamiento.....</i>	<i>41</i>
3.6.3.2.	<i>Cálculo de la resistencia aerodinámica.....</i>	<i>42</i>

3.6.3.3.	<i>Cálculo de la fuerza de escalada</i>	43
3.6.3.4.	<i>Cálculo de la fuerza de tracción eléctrica total</i>	44
3.6.4.	<i>Cálculo del torque requerido</i>	45
3.6.5.	<i>Cálculo de la velocidad angular</i>	45
3.6.6.	<i>Cálculo de la potencia requerida</i>	46
3.6.7.	<i>Selección del motor</i>	47
3.6.8.	<i>Selección del controlador</i>	49
3.6.9.	<i>Selección del sistema de freno</i>	50
3.6.10.	<i>Selección de la batería</i>	51
3.6.10.1.	<i>Cálculo de autonomía de la batería</i>	52
3.6.10.2.	<i>Cálculo de tiempo de carga de la batería</i>	53
3.6.10.3.	<i>Cálculo de duración en horas de la batería</i>	53
3.7.	Diseño mecánico de la estructura	54
3.7.1.	<i>Selección de materiales</i>	54
3.7.2.	<i>Cuernos o mandos</i>	55
3.7.3.	<i>Diseño de la horquilla</i>	56
3.7.4.	<i>Diseño de los brazos</i>	58
3.7.5.	<i>Diseño de pieza de anclaje y placas soporte</i>	61
3.8.	Análisis de esfuerzos y deformación total en ANSYS	64
3.8.1.	<i>Calidad de las mallas obtenidas</i>	64
3.8.2.	<i>Análisis de la carga en todo el equipo</i>	66
3.8.3.	<i>Análisis de la carga en la horquilla</i>	68
3.8.4.	<i>Análisis de la carga en los brazos</i>	70
3.8.5.	<i>Análisis de la carga en la pieza de anclaje</i>	71
3.8.6.	<i>Análisis de la carga en el eje del motor</i>	72
3.9.	Manufactura y armado del prototipo impulsor	74
3.9.1.	<i>Manufactura de la horquilla y manubrio</i>	74
3.9.2.	<i>Manufactura de los brazos</i>	76
3.9.3.	<i>Manufactura de los apoyos</i>	77

3.9.4.	<i>Implementación de los elementos de control del equipo</i>	78
3.10.	Pruebas de funcionamiento	79
3.10.1.	<i>Velocidades alcanzadas</i>	79
3.10.2.	<i>Tracción del equipo en funcionamiento</i>	82
3.11.	Análisis de costos	82
3.11.1.	<i>Costos directos</i>	82
3.11.2.	<i>Costos indirectos</i>	84
3.11.3.	<i>Costos totales</i>	84

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS	86
4.1	Análisis de definición de producto	86
4.2	Análisis de diseño	87
4.2.1	<i>Selección de elementos</i>	87
4.2.2	<i>Diseño de forma y selección de materiales</i>	90
4.1	Análisis de los resultados obtenidos en el software de simulación	89
4.1	Análisis de las pruebas de funcionamiento	92
	CONCLUSIONES	94
	RECOMENDACIONES	95

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-3:	Valor de evaluación de encuestas.....	24
Tabla 2-3:	Preguntas de la encuesta.....	24
Tabla 3-3:	Tabulación de resultados de la encuesta.....	25
Tabla 4-3:	Análisis de competencia.....	32
Tabla 5-3:	Especificaciones técnicas para el diseño y construcción.....	33
Tabla 6-3:	Matriz morfológica de las alternativas de un scooter.....	35
Tabla 7-3:	Evaluación de los pesos específicos de las distintas soluciones.....	38
Tabla 8-3:	Evaluación del peso específico del criterio movilidad.....	38
Tabla 9-3:	Evaluación del peso específico del criterio costo.....	38
Tabla 10-3:	Evaluación del peso específico del criterio funcionalidad.....	39
Tabla 11-3:	Evaluación del peso específico del criterio seguridad.....	39
Tabla 12-3:	Evaluación del peso específico del criterio ergonomía.....	39
Tabla 13-3:	Conclusiones de alternativas.....	39
Tabla 14-3:	Características preliminares de la silla de ruedas y del ambiente.....	41
Tabla 15-3:	Factores para la selección del motor.....	48
Tabla 16-3:	Especificaciones del motor seleccionado.....	48
Tabla 17-3:	Especificaciones del controlador seleccionado.....	49
Tabla 18-3:	Especificaciones de la batería seleccionada.....	54
Tabla 19-3:	Métricas de malla obtenidos para todo el equipo.....	65
Tabla 20-3:	Tiempos de las pruebas tramo recto.....	81
Tabla 21-3:	Costo de equipos para la construcción del sistema impulsor.....	82
Tabla 22-3:	Costo de materiales de construcción de la estructura del equipo impulsor.....	83
Tabla 23-3:	Costo de equipos y herramientas.....	83
Tabla 24-3:	Costo de mano de obra.....	84
Tabla 25-3:	Costos totales directos.....	84
Tabla 26-3:	Costos indirectos.....	84
Tabla 27-3:	Costos totales.....	85

Tabla 1-4:	Valores de magnitudes físicas utilizadas para la selección de elementos.....	89
Tabla 2-4:	Elementos seleccionados para la silla autopropulsada	89
Tabla 3-4:	Propiedades de los materiales del prototipo	90
Tabla 4-4:	Valores obtenidos de esfuerzos y deformaciones en simulación.....	92
Tabla 5-4:	Valores calculados para una velocidad de 12 km/h.....	92
Tabla 6-4:	Valoración del rendimiento del equipo	93

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-2:	Silla de ruedas John Dawson Bath.....	6
Ilustración 2-2:	George Klein-Silla de ruedas eléctrica	7
Ilustración 3-2:	a) Manual, b) Eléctrico, c) Híbrido.....	8
Ilustración 4-2:	Esquema de pendientes longitudinales	10
Ilustración 5-2:	Reacción de una batería plomo-acido	13
Ilustración 6-2:	Proceso de carga y descarga de una batería de Litio.....	14
Ilustración 7-2:	Diagrama de mecanismo multi cuerpo	16
Ilustración 8-2:	Juntas de uso típico en sistemas multicuerpo	17
Ilustración 9-2:	Esquema de la matriz QFD.....	18
Ilustración 10-2:	Fijación del objetivo	18
Ilustración 11-2:	Establecimiento de la lista de requerimientos.....	19
Ilustración 12-2:	Ponderación de los requerimientos de los clientes.....	19
Ilustración 13-2:	Estudio de la competencia.	20
Ilustración 14-2:	Definición del cómo se va a dar solución al problema.	20
Ilustración 15-2:	Correlaciones del cómo se va a dar soluciones.....	21
Ilustración 16-2:	Relación entre el qué busca el cómo se solucionará los problemas.....	21
Ilustración 17-2:	Cuantificación de los objetivos de las soluciones “Cómos”.....	22
Ilustración 18-2:	Jerarquización de las soluciones “Cómos”.	22
Ilustración 1-3:	Sistema de propulsión acoplado a la silla de ruedas competencia 1	27
Ilustración 2-3:	Silla de ruedas con sistema de control de voz.....	28
Ilustración 3-3:	Silla de ruedas motorizada	29
Ilustración 4-3:	Casa de la calidad	31
Ilustración 5-3:	Organigrama nivel 0	34
Ilustración 6-3:	Organigrama nivel 1	34
Ilustración 7-3:	Alternativa 1	36
Ilustración 8-3:	Alternativa 2	36
Ilustración 9-3:	Alternativa 3	37
Ilustración 10-3:	Vista frontal del prototipo.....	42
Ilustración 11-3:	Peso total del sistema.....	43
Ilustración 12-3:	D.C.L del sistema.....	44
Ilustración 13-3:	Fuerza de arranque y radio en la rueda	45
Ilustración 14-3:	Gráfico Torque vs Velocidad angular (rpm) - 400w.....	47
Ilustración 15-3:	Gráfico Torque vs Velocidad angular (rpm) – 1000w.....	49
Ilustración 16-3:	Controlador de velocidad seleccionado	50

Ilustración 17-3:	Freno de disco seleccionado	51
Ilustración 18-3:	Batería seleccionada	53
Ilustración 19-3:	Selección de las tuberías	55
Ilustración 20-3:	Conjunto del cuerno o mando del sistema.	55
Ilustración 21-3:	DCL carga en el eje.	56
Ilustración 22-3:	Descomposición de fuerza W_{BE}	57
Ilustración 23-3:	Carga provocada sobre los brazos.....	59
Ilustración 24-3:	Dimensiones de uno de los brazos del sistema	59
Ilustración 25-3:	Momentos de análisis en el empotramiento.....	60
Ilustración 26-3:	Configuración de la pieza de anclaje	62
Ilustración 27-3:	Análisis de fuerzas en el anclaje con el brazo.....	62
Ilustración 28-3:	Recomendaciones de métricas de malla ANSYS	64
Ilustración 29-3:	Esfuerzo equivalente en todo el equipo al instante del arranque.	66
Ilustración 30-3:	Deformación total en todo el equipo al instante del arranque.....	67
Ilustración 31-3:	Esfuerzo equivalente en todo el equipo en posición estática.	67
Ilustración 32-3:	Deformación total en todo el equipo en posición estática.	68
Ilustración 33-3:	Esfuerzo equivalente de Von Mises en la horquilla.....	69
Ilustración 34-3:	Deformación total en la horquilla	69
Ilustración 35-3:	Esfuerzo equivalente de Von Mises en un brazo	70
Ilustración 36-3:	Deformación total en un brazo.....	71
Ilustración 37-3:	Esfuerzo equivalente de Von Mises en pieza de anclaje	71
Ilustración 38-3:	Deformación total en la pieza de anclaje	72
Ilustración 39-3:	Esfuerzo equivalente de Von Mises en el eje del motor	73
Ilustración 40-3:	Deformación total en el eje del motor.....	73
Ilustración 41-3:	Armado de la horquilla	74
Ilustración 42-3:	Horquilla unida mediante soldadura	74
Ilustración 43-3:	Horquilla completada.....	75
Ilustración 44-3:	Instalación de los elementos del manubrio.	75
Ilustración 45-3:	Instalación de los elementos del manubrio.	76
Ilustración 46-3:	Placas de los brazos anclados a la horquilla	76
Ilustración 47-3:	Acople de los brazos a la silla.....	77
Ilustración 48-3:	Apoyos soldados a la horquilla.....	77
Ilustración 49-3:	Prototipo pintado y acoplado	78
Ilustración 50-3:	Prototipo en pleno funcionamiento.....	78
Ilustración 51-3:	Ruta recorrida en pruebas de funcionamiento.....	79
Ilustración 52-3:	Tiempo de recorrido en pruebas de funcionamiento.....	80
Ilustración 53-3:	Ruta recta para pruebas de funcionamiento	81

Ilustración 1-4:	Gráfica de análisis competitivo.....	86
Ilustración 2-4:	Gráfico de conclusiones de alternativas.....	87
Ilustración 3-4:	Fuerza de tracción eléctrica vs Pendiente	88
Ilustración 4-4:	Relación torque vs fuerza eléctrica.....	88

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: MANUAL DE OPERACIÓN

ANEXO B: CATÁLOGO DIPAC

ANEXO C: PLANOS

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue realizar el diseño y construcción de un sistema impulsor eléctrico acoplable a sillas de ruedas para personas con discapacidad en miembros inferiores para movilidad en áreas urbanas. Mediante investigación y la metodología QFD se recolectaron los datos sobre la experiencia del usuario con el objetivo de establecer parámetros para los diseños. Las características más importantes fueron movilidad, bajo costo, funcionalidad, seguridad y ergonomía, con estos criterios se plantearon tres principales alternativas, usando una matriz morfológica y el método ordinal corregido de criterios ponderados se seleccionó la mejor alternativa. Posteriormente, se diseñó el prototipo, el mismo se dividió en dos partes, la primera consiste en la selección de elementos para el control del equipo y la segunda parte el diseño mecánico de la estructura del prototipo con ayuda de software CAD. A continuación, se realizaron análisis MEF teniendo como material principal de construcción, el acero ASTM A36 y pernos de grado ISO 8.8. Una vez asegurada la resistencia del prototipo se procedió con la construcción, mediante el uso de varias tareas de mecanizado y con soldaduras TIG y SMAW, se armó correctamente la estructura del equipo para finalmente instalar los elementos eléctricos del prototipo. Para el sistema de control se seleccionaron un motor de cubo de 1000w, 4 baterías recargables de ácido plomo de 12V, acelerador y un controlador de 20 amperios, con las pruebas de funcionamiento se establecieron velocidades de hasta 15 km/h, con una duración de batería de 1,48 h y distancia máxima de recorrido continuo de 15 km. Se concluye que el sistema impulsor fue capaz de subir sin problemas pendientes del 12% y superar terrenos difíciles. Se recomienda no sobrepasar velocidades de 12 Km/h para evitar posibles volcamientos, además para futuros proyectos el uso de materiales más ligeros.

Palabras clave: <SISTEMA IMPULSOR ELÉCTRICO> <PERSONAS CON DISCAPACIDAD> <DISEÑO MECÁNICO> <METODOLOGÍA QFD> <PROTOTIPO>.

1281-DBRA-UPT-2023



SUMMARY

This project aimed to design and build an electric propulsion system that can be attached to wheelchairs for individuals with lower limb disabilities, enabling mobility in urban areas. Through research and the QFD methodology, data was collected on user experiences to establish design parameters. The most important characteristics considered were mobility, low cost, functionality, safety, and ergonomics. Based on these criteria, three main alternatives were proposed and evaluated using a morphological matrix and the corrected weighted criteria method. The best alternative was selected as a result. Subsequently, the prototype was designed, divided into two parts. The first part involved selecting the control components for the system, while the second part focused on the mechanical design of the prototype structure using CAD software. Finite element analysis (FEA) was performed considering ASTM A36 steel as the primary construction material and ISO 8.8 grade bolts to ensure the prototype's strength. Once the prototype's strength was confirmed, the construction process began, involving various machining tasks and TIG and SMAW welding to assemble the equipment structure. Finally, the electrical components of the prototype were installed. For the control system, a 1000W hub motor, four rechargeable 12V lead-acid batteries, an accelerator, and a 20-ampere controller were selected. Through performance testing, maximum speeds of up to 15 km/h were achieved, with a battery duration of 1.48 hours and a maximum continuous travel distance of 15 km. It was concluded that the propulsion system could smoothly ascend 12% slopes and overcome rugged terrain. It is recommended not to exceed speeds of 12 km/h to avoid potential tipping, and for future projects, the use of lighter materials is suggested.

Keywords: <ELECTRIC PROPULSION SYSTEM> <INDIVIDUALS WITH DISABILITIES>
<MECHANICAL DESIGN> <QFD METHODOLOGY> <PROTOTYPE>



Lic. Sandra Leticia Guijarro Paguay
C.I.: 0603366113

INTRODUCCIÓN

Los problemas asociados a la discapacidad generan grandes dificultades a las personas que la padecen, este trabajo se encuentra enfocado en facilitar la movilidad de este sector de población, específicamente aquellos con discapacidad en miembros inferiores. Para ello se cita la información más propicia que ayude a comprender la totalidad del problema, en el primer apartado se destaca la información referente a los elementos que se encuentran en el mercado, así como el medio del que se sirven los discapacitados. El análisis planteado fue el QFD, medio por el cual se recopila los requerimientos de la persona que requiere el equipo, denominado como la voz del usuario, y siendo estos llevados a los requerimientos técnicos o denominado como la voz del ingeniero. El proceso conlleva a definir los requerimientos con la característica de jerarquizar, aquellos de mayor relevancia para el usuario, proporcionando el factor que se priorizara al momento de diseñar el prototipo. Dicho análisis enfatiza evaluar la competencia del producto a generar, uno de los problemas encontrados en tal parámetro es la poca o ninguna presencia de entidades que fabriquen y comercialicen este tipo de equipos, limitando las comparaciones a trabajos de titulación similares.

Mediante la información recabada en primera instancia, en conjunto con los requerimientos del usuario, se adquieren los parámetros necesarios para la selección de los elementos que conformaran el prototipo además de concebir las ideas de los prototipos a diseñar. En este apartado se realizan los cálculos necesarios para la selección del motor, controladores, frenos y batería del prototipo. Además, se realizan los análisis de esfuerzos de los elementos al momento de encontrarse en operación, destacando que al ser el proyecto destinado al uso de cualquier silla de ruedas se tiene la particularidad de no poder definir condiciones estándar de las cargas. Estas serán definidas por el modelo de silla que se valla a adaptar además del acople que se pueda generar, por tanto, los cálculos se realizaron mediante estimaciones promedio y analizando para las condiciones más críticas a las que pueda estar sometido el equipo. Con todos estos cálculos previos llevamos las ideas concebidas al diseño de los elementos que conformaran el prototipo mediante SolidWorks, siendo algunos de estos moldeados de manera diferente a la inicial, precisamente por los cálculos y demás parámetros encontrados en el desarrollo.

Para culminar con el marco metodológico se realizan análisis de los elementos con ANSYS, para poder comparar los valores obtenidos además de poder evaluar las condiciones de los elementos más críticos al momento de tener aplicadas las cargas. Además, se muestra la fabricación del prototipo, destacando las adecuaciones que se realizaron, bajo recomendación de los miembros involucrados en la construcción. Y pudiendo con todo esto poder presentar de manera más detallada los resultados obtenidos durante el desarrollo del trabajo.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

El avance de la tecnología ha permitido hoy en día, encontrar infinidad de formas de cómo usarla para el beneficio de las personas. Es así como en el presente, encontramos diferentes aparatos en los hogares de cada familia, con un fin determinado, que conlleva el objetivo de realizar una acción u ofrecer algún servicio. Hemos de entender que dicha tecnología serviría incluso en mayor medida, a aquellas personas que se han visto privadas de una libre movilidad producto de alguna discapacidad motora, los cuales no serán profundizados en el desarrollo de este trabajo. Una de estas tecnologías, cuyo fin es el servir a quienes no pueden desplazarse normalmente, son las sillas de ruedas. Los primeros modelos de sillas de ruedas eléctricas comenzaron a aparecer para los años de 1950, su creador el ingeniero George Klein en conjunto con su equipo, las crearon con el fin de ayudar a los heridos de la Segunda Guerra Mundial, su producción en masa fue realizada a partir de 1956 a manos de Jennigs, el referente de las sillas de ruedas manuales plegables (Francés, 2021, pp.9).

Los proyectos que más cabida tienen en la actualidad, son aquellos en las que se busca crear una de estas sillas con el menor coste posible. Siendo estas aquellas que usan como materiales policloruro de vinilo, madera, materiales reciclados etc. El plus de la actualidad es poder motorizar estos implementos de manera que permitan al usuario la facilidad de movilidad. Es así como se pueden encontrar diferentes maneras como la de Jesús Arcia de la Universidad de Córdoba, en su proyecto utiliza primordialmente materiales plásticos como tubos, codos, soldadura en frío, remaches, ruedas metálicas, con sus implementos que están por demás mencionar y primordialmente un motor reductor el cual usa como sistema de transmisión un mecanismo de piñones y cadenas. Los demás implementos son electrónicos con un joystick como sistema de control de mando además de una batería que sirve como fuente de energía (Arcia, 2015, pp.72-73).

En la ciudad de Puebla, México, se presentó el desarrollo de un sistema mecatrónico, el propósito es controlar una silla de ruedas motorizada mediante diversos dispositivos por enlace inalámbrico. En este trabajo se puede encontrar a manera de mejora la implementación de la tecnología actual, con las sillas de ruedas motorizadas, haciendo referencia a los sistemas de comunicación inalámbrica. En cierta medida este tipo de sistemas de comunicación pueden ayudar en mayor medida a aquellas personas que poseen un mayor grado de discapacidad. Este trabajo le da un enfoque investigativo, de este producto, con miras en la mejora de la interfaz de control, los sistemas dinámicos y cinemáticos, entre algunos otros factores (Cerino, 2017, pp.159).

La mayoría de los proyectos que se puede encontrar tienen como principal enfoque el crear sillas de ruedas eléctricas que permitan la movilidad a un minusválido. Son trabajos que limitan a los usuarios a comprar la totalidad del producto, es así como podemos encontrar a Bedón Luis, su propósito fue el crear un sistema de control para la movilidad y extensión de una silla de ruedas eléctrica de bipedestación. Este proyecto como se menciona no solo implica ofrecer un producto, de movilidad a sus pacientes, también involucra cuestiones ergonómicas que se han visto desestimadas por los diseñadores de este tipo de productos. Esta idea cuenta con la ambiciosa intención de presentarse en el mercado local, como un producto nacional, del cual es carente el Ecuador, con las ventajas de un bajo costo, sistema de monitoreo, desplazamiento y transformación en bipedestación (Bedón, 2017, pp.724-732.)

1.2. Delimitación

1.2.1. Delimitación espacial

El presente proyecto de Integración Curricular se lo desarrollará en la ciudad de Riobamba, provincia de Chimborazo, Ecuador, específicamente en la ESPOCH.

1.2.2. Delimitación sectorial

El actual trabajo se acoge al Plan Nacional de Desarrollo 2021-2025 en conformidad con el eje social inmerso en el objetivo 5 que especifica lo siguiente: Proteger a las familias, garantizar sus derechos y servicios, erradicar la pobreza y promover la inclusión social.

1.3. Planteamiento del problema

Consultando los datos del Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades (CONADIS) (2021), en Ecuador existen en la actualidad 215156 personas con discapacidad física, de las cuales 2942 pertenecen a la ciudad de Riobamba. De este número de personas solo un pequeño porcentaje poseen un medio de movilización, que facilite su traslado, siendo el caso de requerirlo. En Ecuador existen planes de ayuda para este sector de la población, teniendo como una de las principales actividades la donación de sillas de ruedas. Se destaca que una de las principales causas, que generan discapacidad, que implica el uso de estos aparatos es la vejez. Mas, sin embargo, el análisis no contempla el esfuerzo que deben realizar estas personas para poder moverse, o la obligación que implica para un tercero el desplazar a estas personas, además del gasto de tiempo y recursos que toma desplazar a una persona de estas condiciones. Por tanto, se requiere diseñar un sistema que pueda ser acoplado a cualquier tipo de silla de ruedas, este implemento busca facilitar el traslado a este porcentaje de personas que ven limitada su movilidad a causa de una discapacidad y que producto de tal limitante, se ven forzados a realizar un gasto considerable de energía para poder moverse. El poder tener un sistema propulsor permitirá a los discapacitados trasladarse de manera autónoma, ahorrando tiempo y recursos de la persona

ocupante de la silla y de sus familiares, por ende, esto conlleva un mejoramiento de su calidad de vida.

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación teórica

Este trabajo busca aplicar los conocimientos adquiridos, durante todo el transcurso de la carrera de ingeniería mecánica, en donde mediante el uso de programas de modelado, simulación y análisis posibilitarán la conceptualización del diseño de un sistema de propulsión eléctrica acoplable a una silla de ruedas con el fin de mejorar la autonomía de personas que usen este tipo de aparatos para desplazarse y cubra a sus necesidades de movilización.

Se requiere establecer una solución efectiva, que demuestre mediante justificación científica, en conjunto con el desarrollo práctico de un dispositivo los conocimientos adquiridos durante la carrera y la habilidad de poder implementarlos en la solución de problemas. Ser el medio de complemento del campo de estudio que abarque de manera significativa el dominio de los conocimientos y que evidencien la aplicación de estos.

1.4.2. Justificación económica

En el mercado existe una gran variedad de sillas de ruedas motorizadas, más sin embargo sus altos costos no favorecen a las personas que requieren su uso, obligando a que estos adquieran una silla de ruedas convencional, que ellos o un tercero se verá en la obligación de accionar. Como se ha destacado anteriormente en Ecuador existen campañas de entrega de estos aparatos, sin embargo, los mismos de igual manera son modelos convencionales. El poder presentarse como una optativa más económica y que aproveche la silla de ruedas con la que ya se cuenta, es una valiosa alternativa que ayudara a gran parte de población con esta condición. Además, hay que destacar que al ser este un sistema de ensamble no implica necesariamente un gasto energético total durante el uso de la silla, pudiendo ser usado en los escenarios más propicios según se necesite.

1.4.3. Justificación social

Las discapacidades en las personas crean problemas, en especial en el ámbito económico y psicológico de aquellas con dicha discapacidad, incluyendo también a sus familiares y amigos. Las personas con algún tipo de discapacidad tienden a tener depresión por el hecho de sentirse una carga para su familia, es por ello por lo que al mejorar su movilidad autónoma esto les permitirá sentirse mejor consigo mismos. Además, se presenta una oportunidad para que el discapacitado puede movilizarse con relativa facilidad en zonas urbanas lo que le representa un ahorro en transporte convencional, que a la larga dará como resultado un ahorro de dinero que puede ser redirigido a otros gastos de la familia, la cual es el núcleo de toda sociedad.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Diseñar y construir un prototipo de sistema impulsor acoplable a una silla de ruedas para personas con discapacidad de miembros inferiores para movilidad en áreas urbanas.

1.5.2. Objetivos específicos

- Determinar requerimientos funcionales y parámetros de diseño.
- Analizar y seleccionar las alternativas del sistema de impulsión.
- Realizar el diseño conceptual y modelarlo mediante software CAD.
- Diseñar y simular los elementos mecánicos del sistema de impulsor de la silla mediante el uso de software que permitan definir el más eficiente.
- Seleccionar y adaptar un sistema de control para el correcto funcionamiento del sistema impulsor.
- Construir el prototipo y realizar las correspondientes pruebas de operabilidad.
- Evaluar los resultados de las pruebas de funcionalidad.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Discapacidad motriz.

Según la organización mundial de la salud (OMS) la definición de discapacidad se trata de un término genérico que engloba deficiencias, limitaciones de actividad y restricciones para la participación. La discapacidad denota los aspectos negativos de la interacción entre personas con un problema de salud (como parálisis cerebral) y factores personales y ambientales (como actitudes negativas, transporte, edificios públicos inaccesibles y falta de apoyo social). La discapacidad forma parte de la condición humana, casi todas las personas sufrirán algún tipo de discapacidad transitoria o permanente en algún momento de su vida, y las que lleguen a la senilidad experimentarán dificultades crecientes de funcionamiento. En términos más específicos la discapacidad motora es un término global que hace referencia a las deficiencias en las funciones y estructuras corporales de los sistemas osteoarticular y neuromusculotendinoso (asociadas o no a otras funciones y/o estructuras corporales deficientes), y las limitaciones que presente el individuo al realizar una tarea o acción en un contexto/entorno normalizado, tomado como parámetro su capacidad/habilidad real, sin que sea aumentada por la tecnología o dispositivos de ayuda o terceras personas” (Sarto & Vedia, 2013, pp.28)..

2.2. Silla de ruedas

No se puede tener una fecha específica acerca de la creación de la primera silla de ruedas ni a quien adjudicársela. De la primera que se tiene cierto registro es de la hecha por un inventor desconocido para el Rey Felipe II de España, en 1595 y denominada como silla de un invalido. Para el siglo XIX surgió una silla (Ilustración 1-2) de gran popularidad en 1783 en la ciudad de Bath Inglaterra, a manos de John Dawson esta contaba con dos ruedas grandes en su parte trasera y una tercera rueda de menor tamaño en la parte delantera (Karma, 2020).

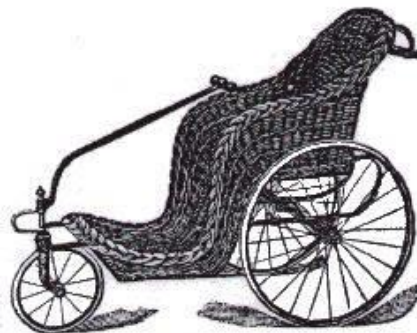


Ilustración 1-2: Silla de ruedas John Dawson Bath

Fuente: (Karma, 2020).

Para los años de 1800s se dieron una serie de modificaciones en las sillas de ruedas siendo los más significativos aquellos realizados en las ruedas de estas, adaptándose básicamente a lo que

hoy en día se tiene. Las innovaciones más significativas se dieron en el año 1916, cuando se fabricó en Londres la primera silla de ruedas motorizada, y para 1932 Harry Jennings construye la primera silla de ruedas plegable de acero tubular, similares a las que se encuentran en la actualidad. Dicha silla tubo como destino de uso para su propio amigo parapléjico con quien fundo Everest y Jennings compañía que fue acusada de monopolizar el mercado de las sillas de ruedas. La primera silla de ruedas eléctrica fue realizada por el mismo inventor al que se le debe la pistola de grapas microquirúrgica, este invento dicha silla en conjunto con su grupo de Ingenieros del Consejo Nacional de Investigación de Canadá. Estas tenían como propósito ayudar a los veteranos de guerra, que producto de los estragos de la segunda guerra mundial perdieron su capacidad motora, finalmente estas sillas (Ilustración 2-2) fueron construidas a gran escala por la empresa antes mencionada Everest y Jennings a partir del año 1956 (Karma, 2020).



Ilustración 2-2: George Klein-Silla de ruedas eléctrica

Fuente: (Karma, 2020).

Se debe mencionar que hoy en día los avances tecnológicos están permitiendo que se tenga sillas de ruedas incluso con controles mentales, con gran aplicabilidad para aquellas personas con una muy limitada movilidad (Karma, 2020).

2.3. Tipos de sistemas de propulsión

Se puede destacar que la actualidad permite tener una variedad en cuanto a sistemas de propulsión, desde aquellos muy sofisticados a aquellos rudimentarios creados por sus usuarios. En trabajos como Sánchez & Sánchez, (2020, pp.16-17), se puede encontrar mencionados tres sistemas de impulsión, como se puede ver en la ilustración 3-2, siendo estos denominados Hand bike, el primero es uno manual. Este tipo de sistema se basa en que el usuario provea la fuerza de propulsión mediante sus extremidades superiores, el sistema puede variar en la transmisión de la fuerza a los usuarios por las bicicletas mediante el uso de cadenas o algunos mediante correas. El

segundo sistema que se encuentra es el más común en estos tipos, ya que llevan un motor eléctrico que facilita su uso por sus sistemas de control, además de la ventaja con el primero que el usuario no tendrá que generar la fuerza de propulsión. Por último, se tiene un sistema híbrido que viene siendo una combinación de ambos, en el que se tiene una condición manual y otra con el motor, tanto en el sistema eléctrico como híbrido se destaca el tipo de frenado hidráulico.

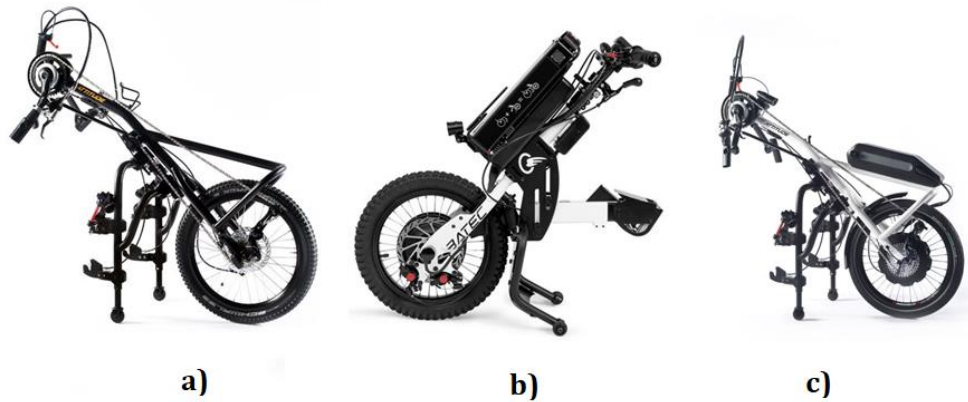


Ilustración 3-2: a) Manual, b) Eléctrico, c) Híbrido.

Fuente: (Karma, 2020).

2.4. Motor eléctrico DC

Se trata de una máquina eléctrica, un motor DC está compuesto de un rotor y de un inductor el estator contiene un imán fijo que constituye el inductor. Además, cuenta con un bobinado denominado inducido que al recibir una DC tiene la capacidad de girar en el interior del inductor. Unas escobillas que se encargan de la transmisión de la corriente al conmutador, las cuales son de grafito material menos duro que el del conmutador, esto para evitar el desgaste que se da proveniente del contacto continuo que se tiene que dar entre estos. El conmutador es un conjunto de láminas delgadas que van montadas sobre el rotor, separadas entre sí y del eje, por medio de materiales aislantes para que se evite el contacto eléctrico entre estos. Su objetivo es mantener la corriente en una sola dirección y comunicándola al inducido. Por último, se tiene el eje que es la parte donde van montadas el inducido, el conmutador y el núcleo inducido, se trata de la parte móvil del rotor. Un motor DC gira debido a que cuando una DC pasa a través de un cable conductor inmerso en un campo magnético, la fuerza magnética produce un par el cual provoca el giro del motor DC, realizándose este proceso mediante el inductor que provee el campo magnético y el inducido en el que se genera un par debido a que es recorrido por una DC que entra por el conmutador, y al estar inmerso en el campo se generan fuerzas que lo hacen girar (Rodríguez, 2010).

2.5. Parámetros que intervienen en la selección de motores

Si se tienen como afán el poder motorizar algún medio de transporte, como bicicletas, patinetas, patines o sillas de ruedas, hoy en día existe una serie de empresas que ya ofrecen kits que pueden

ayudar a cumplir dicho objetivo. Por ende, la selección del más propicio se verá influenciada directamente en el medio al que se requiera aplicarlo, y con ello considerar las diferentes condiciones y demás factores de los que se deberá tomar en cuenta para su óptima aplicación.

2.5.1. *Peso*

El propósito de este trabajo no abarca limitantes en cuanto a la edad, estatura o peso de la persona, es por tal motivo que para nuestro trabajo ha de considerarse el valor más elevado en cuanto a dicho valor y con tal parámetro se podrá escoger el motor más propicio. Gracias a las especificaciones provistas por la página amanecermedico.com se puede observar que las características que se tiene para los diferentes modelos de sillas de ruedas, el peso máximo de carga que proveen es de 100 kg para las sillas plegables, siendo estas las más económicas en el mercado. Destacando la existencia de aquellas con un marco rígido que pueden soportar pesos de hasta los 107 kg, ha de entenderse que, las personas con dicha condición tienden a perder masa muscular y por tanto pierden peso. Como se ha mencionado las sillas no solo se destinan a personas discapacitadas, también su uso es muy frecuente en personas de la tercera edad, algunas que requieren de sillas de ruedas precisamente por su peso, para ellos se cuenta con sillas que pueden soportar pesos de hasta 100 kg, pesos superiores a este valor requieren ya de diseños exclusivos (Amanecer Médico, 2022).

2.5.2. *Velocidad*

Cabe aclarar que este es un medio de ayuda para personas de movilidad reducida en sus miembros inferiores o por indoles afines a esta, por tal motivo no se ostentará velocidades de gran magnitud. También se debe considerar que, además de estar destinadas al uso urbano, son medios que por lo general se transportan en las aceras, por lo que se debe precautelar la seguridad del ciudadano común que se movilice por las mismas. La dependencia de la velocidad estará influenciada por el peso total que se tenga que desplazar, además de las características que pueda proveer el motor o kit de motorización. Bajo las características que se ofrecen en el mercado las velocidades para sillas de ruedas motorizadas se encuentran entre los 6 a 10 km/h, sin embargo, estas sillas están provistas de un gran peso debido a sus configuraciones lo que reduce la capacidad en cuanto a velocidad (Amanecer Médico, 2022).

2.5.3. *Pendiente*

Si bien se habla de movilizarse con cierta velocidad, dichas interpretaciones deben realizarse tomando en cuenta ciertas consideraciones. Como las condiciones de los lugares de desplazamiento y evidentemente los relieves que se puede tener tanto en los caminos, así como en las rampas de entrada/salida de los distintos establecimientos destinadas al ingreso de personal con silla de ruedas. Si bien el sector de movilización será variado y por tal motivo las condiciones de este, se ha de considerar como factor más preponderante los relieves que se presentan en las

rampas de ingreso a ciertos establecimientos. El instituto ecuatoriano de normalización (INEN) en la normativa técnica ecuatoriana NTE INEN 2 245:2000 accesibilidad de las personas al medio físico, edificios, rampas fijas, nos establece como objetivo las especificaciones de las rampas. “Esta norma establece las dimensiones mínimas y las características generales que deben cumplir las rampas que se construyan en espacios abiertos y en edificaciones para facilitar el acceso a las personas.”(INEN 005-9-1, 1992, pp.21).

En la sección de requisitos específicos se detalla las dimensiones en cuanto a las pendientes longitudinales los cuales se encuentran especificados según el tramo de rampa entre descansos esto en función de la extensión de estos, considerando la proyección horizontal (INEN 005-9-1, 1992, pp.21).

Valores establecidos por la norma:

- a) Hasta 15 metros: 6% a 8%
- b) Hasta 10 metros: 8% a 10%
- c) Hasta 3 metros: 10% a 12%

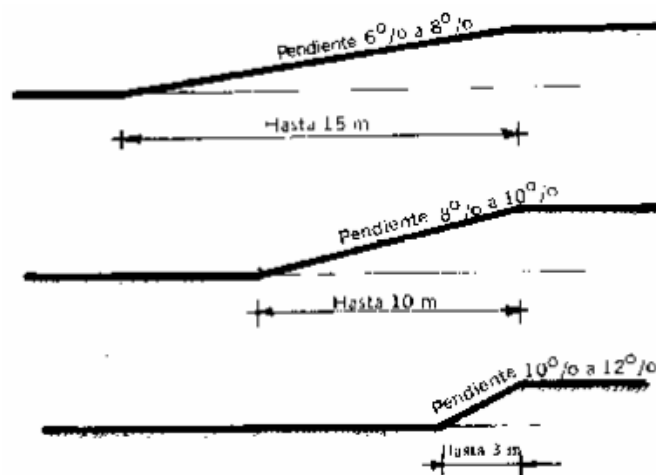


Ilustración 4-2: Esquema de pendientes longitudinales

Fuente: (INEN 005-9-1, 1992, pp.21).

Las condiciones más estrictas que se pueden considerar son las de hasta 3 metros, con un relieve de 12%, por tanto, será dicha consideración la que se deberá tomar en cuenta para cumplir con un óptimo funcionamiento de la silla de ruedas para dicha condición, el esquema de pendientes se observa en la ilustración 4-2.

2.5.4. Potencia

Este factor como sabemos se define como la cantidad de trabajo realizado por unidad de tiempo, la potencia se mide en joule por segundo y es representado con la letra P y existe una serie de fórmulas para determinar su valor (Torres et al, 2020, pp.4-7).

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

Donde

P = Potencia [Watts; Joule/Segundo]

W = Trabajo [Joule o Newton*metro]

t = Tiempo [segundo]

d = Distancia [Metros]

Además, se sabe que la potencia se puede determinar con las siguientes ecuaciones.

$$P = F * \frac{d}{t} = F * V \quad (2)$$

F = Fuerza [Newtons]

V = Velocidad [Metro/segundo]

Hemos de destacar los sistemas de unidades que podemos encontrar en cuanto a la definición de potencia de los motores que existen en el mercado. Se sabe que la unidad de medida de la potencia en el sistema internacional es el Watt, pero se puede manejar también los (hp) en el sistema anglosajón, donde 1hp equivale a 745,7W con estos parámetros podemos ayudarnos en la elección de nuestro motor, según las especificaciones que se nos provea el mismo.

2.6. Controlador electrónico de velocidad

“El Controlador Electrónico de Velocidad (CEV) es un dispositivo electrónico cuyo circuito principal es un convertidor formado por una red de transistores de efecto de campo (MOSFETs), los cuales regulan el paso de energía de la fuente hacia los motores, permitiendo una variación suave, precisa y eficiente de la velocidad, de la dirección y del torque del motor eléctrico”(AVILA et al, 2016, pp.172-183).

2.7. Frenos automáticos para sillas de ruedas

Los frenos automáticos para sillas de ruedas son uno de los últimos dispositivos que permiten facilitar la vida y mejorar la autonomía personal de las personas con movilidad reducida. Este tipo de frenos evitan que, al subir una rampa con una silla de ruedas, esta se desplace hacia atrás. Al realizar este movimiento, los frenos automáticos entran en acción. Así la persona en la silla solo debe realizar impulsos con el cuerpo para avanzar. Esto evita que deba preocuparse por sujetar la silla. Este mismo sistema, pero evitando la caída hacia adelante facilita la subida de escaleras. Esto supone un importante avance para la autonomía de las personas con movilidad reducida (Plaza, 2019).

Los frenos, normalmente, se activan mediante una palanca con forma de mango junto a la propia rueda, aunque también hay otros sistemas:

- Actuadores de freno en los mangos de la silla de ruedas: facilitan ir frenando durante la marcha con el usuario además de poder bloquearse totalmente.
- Palancas de freno bajo el asiento junto a la silla: Son utilizadas, sobre todo, en sillas activas en las que la persona que va sentada acerca la mano con facilidad y acompaña la zapata para frenar la rueda.
- Frenos mixtos: En algunos modelos de sillas viene preparado el freno tanto en la empuñadura como en la propia rueda para que, bien el usuario o bien el acompañante, puedan bloquearla (Plaza, 2019).

2.8. Tipos de mecanismos

Un mecanismo se trata de la parte mecánica de una máquina y el cual tiene como objetivo el transmitir movimiento y fuerza a una fuente de potencia a una salida. Se pueden mencionar ejemplos muy sencillos como una sierra de cadena, donde el mecanismo toma la potencia de un pequeño motor y genera el movimiento de la sierra, para que de esta manera esta genere el corte. Se debe tener muy en cuenta la diferencia entre máquina y mecanismo ya que se suele confundir la apreciación de estos dos términos en un sistema (Myszka, 2012, pp.1-2).

2.9. Batería

Se trata de uno de los muchos sistemas de almacenaje de energía más, sin embargo, las baterías poseen grandes ventajas con respecto a los demás sistemas, como su portabilidad, son comercialmente disponibles y relativamente económicas lo que las hace una de las mejores opciones para implementar en sistemas de acumulación de energía. Al igual que los sistemas existe una diversidad de baterías, las cuales se diferencian en su estructura física, modo de funcionamiento o composición química, las cuales tienen distintas ventajas o desventajas, que pueden ser aprovechadas según su uso.

2.9.1. Baterías de plomo ácido

Este tipo de batería primaria, conformadas en base a la teoría de celdas de Leclanché actualmente es la tecnología de almacenamiento de energía más antigua con más de 130 años, aún son el medio de almacenamiento electroquímico recargable más usado en pequeños sistemas de respaldo.

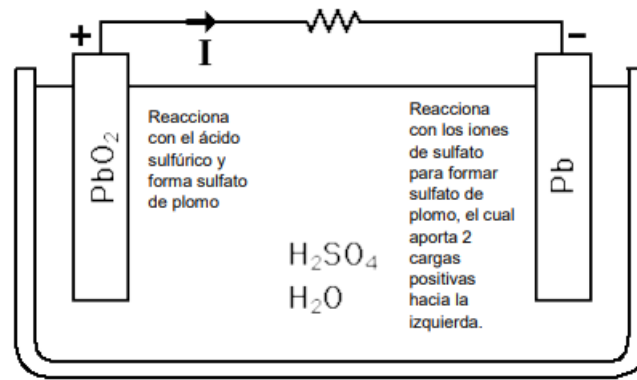


Ilustración 5-2: Reacción de una batería plomo-acido

Fuente: (Olmo, 2019).

El ánodo o electrodo positivo está compuesto de dióxido de plomo, mientras el cátodo o negativo de plomo. El material activo en ambos electrodos es poroso para maximizar la superficie de contacto, en este tipo de baterías el electrolito interviene en forma activa del proceso electroquímico, variando la densidad de ácido en la solución, según el estado de carga. Existen dos categorías de baterías de plomo ácido: las de tipo húmeda o abierta en la cual el electrolito es una solución de ácido sulfúrico y agua destilada, y la VRLA que hizo su primera aparición en los años 60, en la cual el electrolito viene en estado de pasta y es sellado por una válvula reguladora de presión. Este tipo de baterías destaca por su reducido costo y además por su tolerancia al uso intensivo (Olmo, 2019).

2.9.2. Baterías de níquel-cadmio

El nacimiento y desarrollo de esta batería de tipo alcalina se remonta a la década de los años 50, esto ayudó a que se estableciera en el mercado, y que alcanzara una madurez cercana a las baterías de plomo-acido. El material del electrodo positivo es hidróxido de níquel $Ni(OH)_2$ mientras que el electrodo negativo es de cadmio (Cd). La solución alcalina hidróxido de potasio actúa como el electrolito. Ambos electrodos están aislados por un separador, y son enrollados en forma espiral dentro de la carcasa, este diseño reduce la resistencia interna ya que hay una mayor cantidad de electrodo en contacto con el material activo en cada celda. Este tipo de batería puede ser encontrada típicamente en dos formas, según la aplicación; en forma sellada para dispositivos portátiles o en su forma “flooded” o tipo húmedo para aplicaciones industriales.

Poseen como ventaja el que su mantenimiento es muy poco frecuente, el flujo de entrega de corriente es mayor con menor proporción de tiempo, y duran mucho más que las de plomo acido. Cuentan con una muy baja resistencia interna lo que les permita una gran disponibilidad para poder ser conectadas en serie. Se puede destacar que como desventaja por tales características le generan un gran aumento en su costo, ya que de igual manera se requiere de un complejo y más cuidadoso proceso de fabricación, además de la disponibilidad de los materiales. Además, el cadmio es un material toxico y este tipo de baterías tienen problemas de memoria en cuanto a su

carga, es por tal motivo que requieren un completo cuidado al momento de cargarlas y para ciertas aplicaciones no pueden ser muy fiables su uso (González, 2015, pp.10-17).

2.9.3. Baterías de litio

Surgen en los años 70 por Exxon quien desarrolló la primera batería de litio recargable, que se basaba en un cátodo de disulfuro de titanio (TiS_2) y un ánodo de litio-aluminio ($LiAl$). Gracias a la masificación de dispositivos electrónicos portátiles, también se profundiza en el mejoramiento de sus fuentes de energía. Se han enfocado los esfuerzos en las baterías de ion-litio (Li^+) y Polímero de litio ($LiPo$) gracias a su relación densidad-peso. Desde su comercialización masiva a comienzos de los años 90 por Sony, las baterías de litio han logrado un avance importante en cuanto a peso, capacidad de almacenamiento y potencia. Actualmente, las baterías de litio son usadas ampliamente para teléfonos móviles y aparatos electrónicos portátiles, alcanzando una producción anual de 2000 millones de baterías y 10×10^9 millones USD en ventas en el año 2014, en la actualidad son buscadas con miras del avance tecnológico como en equipos de alta potencia para aplicaciones como autos eléctricos y almacenamiento de energía a gran escala, aunque su desarrollo en este ámbito se ha retrasado principalmente por razones de seguridad y costos los que están estrechamente relacionados. En términos de construcción no difieren físicamente del resto de tecnologías de celdas. Se componen de dos capas de electrodos y una capa de electrolito que varía según el tipo de batería en medio de ambas, separados por una capa de un material poroso de polietileno o polipropileno, el electrodo positivo está hecho de óxido de cobalto ($LiCoO_2$) o de fosfato de hierro de litio ($LiFePO_4$). El electrodo negativo está hecho de carbón (grafito) (Oswal et al, 2010, pp.31).

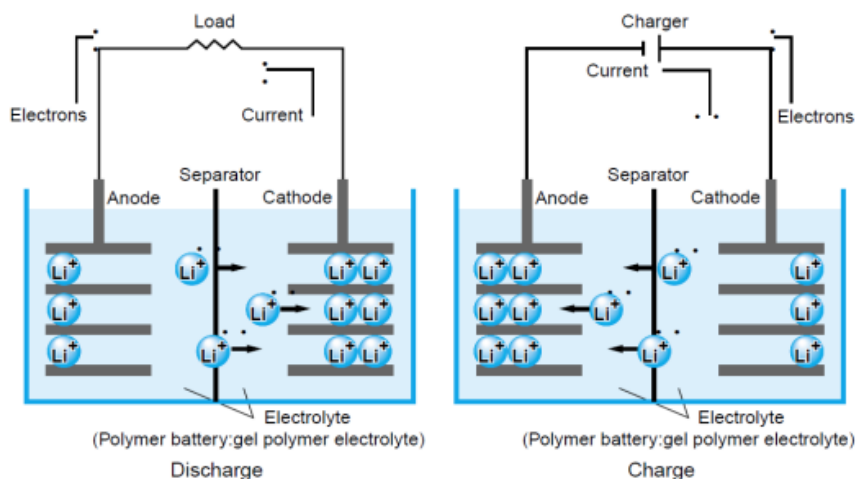


Ilustración 6-2: Proceso de carga y descarga de una batería de Litio

Fuente: (Díaz, 2014).

Todo este tipo de baterías de iones de litio trabajan de similar manera. Durante la carga de la batería, el electrodo positivo retira algunos de sus iones, que se mueven a través del electrolito

para llegar al electrodo negativo y permanecen ahí. La batería almacena energía durante este proceso. Cuando la batería se descarga, los iones vuelven a través del electrolito hacia el electrodo positivo, alimentando la carga. Como ventajas se puede destacar su reducida capacidad en cuanto a peso que permite a diferencia de las otras baterías, además frente a las de plomo ácido permiten almacenar 6 veces más la cantidad de energía en similar espacio. Poseen una gran efectividad en cuanto al efecto memoria, en comparación con las demás memorias, además se destaca su capacidad en cuanto a ciclos de carga-descarga, lo que las hace tan populares para los equipos portátiles. Como desventajas se puede mencionar su costo el cual en comparación con otras es más elevado, poseen un muy bajo rango de vida, entre 2 a 5 años, no tienen buena relación con las altas temperaturas. Además, en situaciones de descarga total las baterías pueden llegar a deteriorarse seriamente, las condiciones de temperatura o sobretensión son de alto riesgo ya que los mismos pueden llegar a ocasionar no solo una falla de la batería, pueden generar explosión o incendio de esta (Oswal et al, 2010, pp.31).

2.10. Acero ASTM A 36

Se trata de un material que se encuentra compuesto con porcentajes de carbono de alrededor del 0,2 al 0,3%, esto ayuda a que sea un acero con buenas condiciones de moldeo, por lo general no poseen tratamientos térmicos. Además de la evidente composición de hierro y carbono cuenta con componentes como manganeso de entre el 0,60 - 1,20%, con silicio entre 0,15 - 0,40%, con cantidades no mayores al 0,04% de fósforo y cantidades inferiores al 0,05% de azufre. Su uso se encuentra destinado principalmente para la industria de la construcción más sin embargo por sus propiedades y demás factores se ha convertido en uno de los materiales más usados en el Ecuador, sobre todo se destaca su disponibilidad en el mercado. Las normativas que se encuentran involucradas para este material son la ASTM A 36/A 36M-04, se puede destacar una densidad de $7,85\text{g/cm}^3$. Como propiedades mecánicas, ofrece un esfuerzo a la fluencia mínimo de 250MPa, un esfuerzo a la tensión de 400 – 550 MPa, elongación mínima en 50mm del 23% y un módulo de elasticidad de 200GPa (SUMITEC, 2023).

2.11. Aluminio 6061 T6

También es conocido como aluminio estructural, fue desarrollado en un comienzo con la designación de aleación 61s, se trata de una de las más habituales en cuanto entre las aleaciones extruidas. Sus características más importantes son una resistencia entre media y alta, con buena resistencia a la corrosión, buena soldabilidad, ductilidad y maquinabilidad. Se trata con una solución caliente y se envejece de forma natural el de templado para los de tipo T4, para los T6 el envejecimiento es de modo artificial lo que le da máxima resistencia. Su densidad es de $2,7\text{g/cm}^3$, con una resistencia a la tracción de 310MPa, un límite elástico de 276MPa y un módulo de elasticidad de 68,9GPa. Dichas propiedades y demás características han convertido a este

material en uno de los más favorables al momento de fabricar piezas, siendo una de estas la industria de los elementos de bicicletas o equipos similares (Gabrian Team, 2020).

2.12. Dinámica multi cuerpo

Un sistema multi cuerpo se define como un conjunto de cuerpos o eslabones imperfectamente unidos, se las conoce como juntas y su función es generar grados de libertad en el movimiento relativo de los eslabones o de igual manera permiten limitar o restringir movimientos. En la siguiente ilustración se muestra uno de los típicos sistemas multicuerpo, el denominado cuadrilátero articulado, donde se ilustra tanto los cuerpos, así como juntas. Se destaca las conexiones de los elementos ya que las mismas no están directamente articulados, poseen elementos intermedios de transmisión de fuerzas como amortiguadores, muelles, por nombrar algunos (Fernández, 2018, pp 4-5).

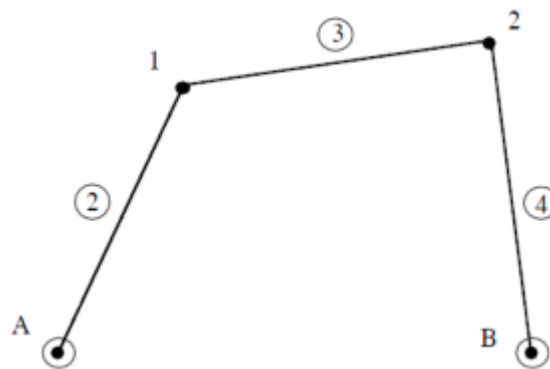


Ilustración 7-2: Diagrama de mecanismo multi cuerpo

Fuente: (Fernández, 2018, pp 4-5).

Las juntas se deben de modelar de la manera más correcta posible, ya que estas son de gran importancia para los cálculos dinámicos como cinemáticos, existen algunas clases de juntas denominadas por los grados de libertad que permiten. Además, se tienen juntas con ciertas características como por ejemplo las juntas de revolución (R) clase I, las cuales permiten solamente la rotación respecto a un eje. La junta prismática (P) que de igual manera pertenece a la clase I ya que permite una traslación a lo largo de un eje, este par de juntas son las más usadas en los mecanismos multicuerpo planos. Para aquellos en tres dimensiones se utilizan las juntas cilíndricas (C), Esférica (E), Tornillo (T), Universal (U) y Helicoidal (H), son las más usadas comúnmente (Fernández, 2018, pp 4-5).

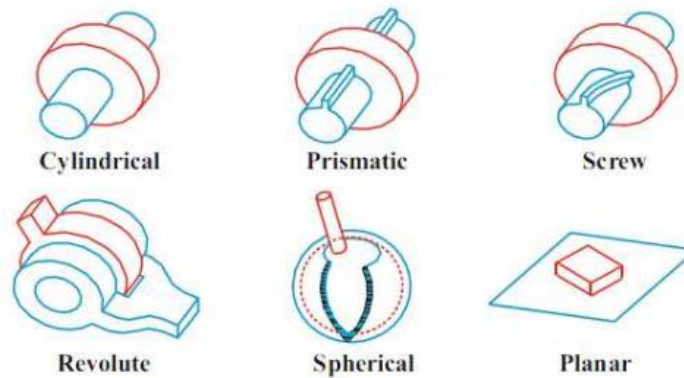


Ilustración 8-2: Juntas de uso típico en sistemas multicuerpo

Fuente: (Fernández, 2018, pp 4-5).

2.13. Despliegue de la función de la calidad (QFD).

Toda información que ha de recopilarse servirá de ayuda en el diseño del prototipo, el cual tiene que ajustarse a las exigencias de los potenciales usuarios. A de entenderse que esto conlleva específicamente a hablar de la calidad del producto, el cual es un medio por el cual se puede saber el nivel de satisfacción del cliente con el prototipo en cuestión. Si bien existen una variedad de maneras de poder comenzar con el diseño de un producto, la metodología a usar en este trabajo será la del despliegue de la función de la calidad o más conocida como QFD, debido a sus siglas inglesas de *Quality Function Deployment*. El cual se trata de un método de diseño para productos o servicios, involucra escuchar al cliente y de esta manera poder traducir dichas palabras en características técnicas. En sus comienzos fue usada como herramienta para la creación de nuevos productos, más sin embargo ahora es un medio que integra las áreas de marketing, ingeniería y operaciones, además actividades como la gestión de la calidad. Se podría decir que en resumen esta metodología implica que marketing escucha la voz del cliente o usuarios, ingeniería se encarga de traducirlo en las especificaciones de diseño del producto o servicio, para que finalmente operaciones se encarguen de producir un producto con rentabilidad y competitividad (Yacuzzi & Martín, 2003, pp.234).

2.14. Metodología

Esta metodología se basa en que mediante la aplicación de matrices cuya denominación es Casa de la Calidad o por sus siglas en inglés *House of Quality*, que como se ha mencionado busca traducir las necesidades del cliente en como poder satisfacer dichas necesidades. Como se podrá observar en el esquema presentado a continuación, el mismo se asemeja al de una casa de ahí que su nombre, de igual manera se observa una serie de secciones que son los constituyentes del análisis total (Ruiz, 2009, pp.12-25).



Ilustración 9-2: Esquema de la matriz QFD

Fuente:(Ruiz, 2009, pp.12-25).

Primer paso:

El primer paso es definir el objetivo del proyecto, el mismo se encuentra claramente enfocado a dar solución o mejora de un producto o incluso en la creación de uno nuevo.” Por tanto, es necesario fijar el objetivo del Modelo mediante una definición clara, entendida y compartida por los participantes” (Ruiz, 2009, pp.12-25).

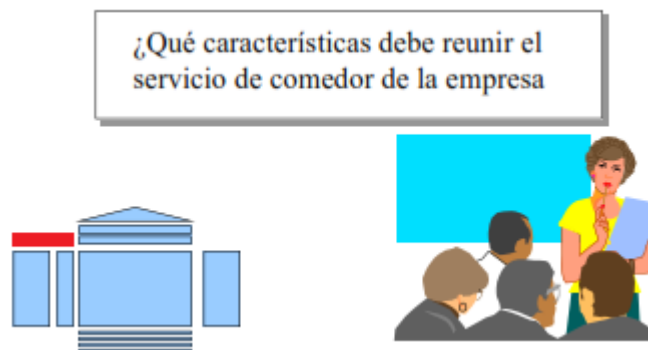


Ilustración 10-2: Fijación del objetivo

Fuente:(Ruiz, 2009, pp.12-25).

Segundo paso:

Implica establecer las necesidades o requerimientos del cliente, “qué” se lo denomina de esta manera ya que busca responder que va a satisfacer el producto o servicio. Se lo puede realizar con una lluvia de ideas, respetando el mismo número de personas integrantes de los diferentes departamentos de los que debe estar conformado, además de que compartan un mismo nivel jerárquico en dicha sesión (Ruiz, 2009, pp.12-25).

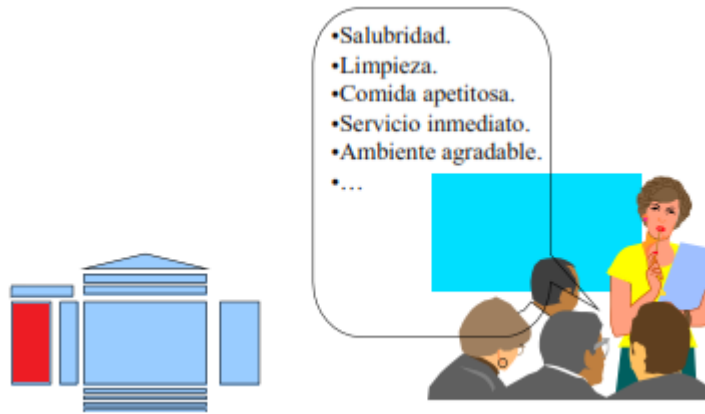


Ilustración 11-2: Establecimiento de la lista de requerimientos.

Fuente:(Ruiz, 2009, pp.12-25).

Tercer paso:

En este paso se le asigna un valor de ponderación a los denominados “qués”, Ruiz, (2009, pp.12-25), detalla que todos los “ques” son importantes más sin embargo habrá algunos con mayor rango de importancia con respecto de otros, por tal motivo. Dichas jerarquizaciones pueden ser variadas desde tener una que vaya del 1 al 5 o una que involucre valores como 1, 3 y 9, siendo 1 el valor de menos peso en la ponderación (Ruiz, 2009, pp.12-25).

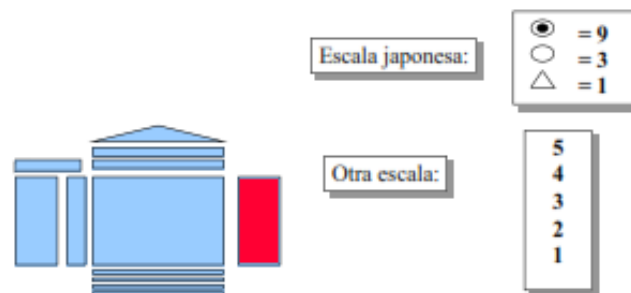


Ilustración 12-2: Ponderación de los requerimientos de los clientes.

Fuente:(Ruiz, 2009, pp.12-25).

Cuarto paso:

Como sabemos la base de muchos de los negocios involucra estudiar a tus competidores, en este paso se enfoca tal principio y se evalúa los productos o servicios que provee la competencia, con ello se determina las falencias que pueden ser cubiertas y destaquen a nuestro producto (Ruiz, 2009, pp.12-25).

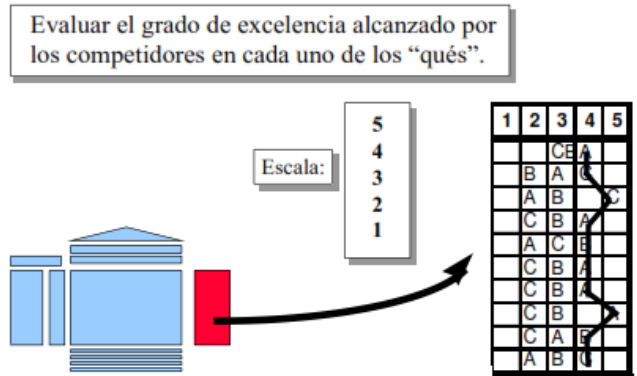


Ilustración 13-2: Estudio de la competencia.

Fuente:(Ruiz, 2009, pp.12-25).

Quinto paso:

Habiendo ya definido en una primera instancia los “qués”, ahora lo que se requiere es evaluar los denominados “cómos”, que evidentemente buscan responder o dar solución a los problemas o requerimientos de los clientes. Por tanto, se analiza cada una de las opciones generadas, además se determina si es bueno que la cantidad que se le asigne crezca, decrezca o se mantenga en un valor objetivo, todo esto en la fila situada debajo del techo (Ruiz, 2009, pp.12-25).

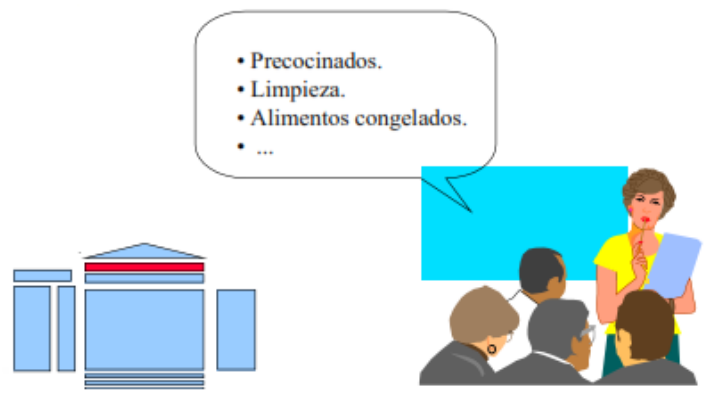


Ilustración 14-2: Definición del cómo se va a dar solución al problema.

Fuente:(Ruiz, 2009, pp.12-25).

Sexto paso:

Este paso busca determinar las relaciones existentes entre los “qués” y los “cómos”, mediante una ponderación de símbolos que ayudan a evidenciar la dirección del cómo se va a dar solución y con ello, ver el más favorable para el objetivo (Ruiz, 2009, pp.12-25).

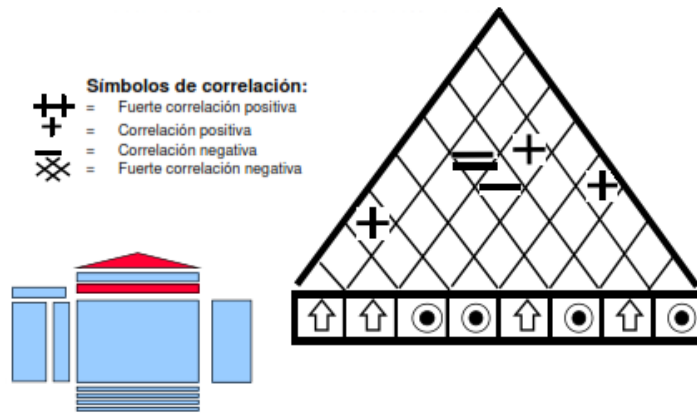


Ilustración 15-2: Correlaciones del cómo se va a dar soluciones.

Fuente:(Ruiz, 2009, pp.12-25).

Séptimo paso:

Involucra establecer las relaciones entre “qués” y “cómos”, esto se lo realiza mediante la asignación de valores como la clásica japonesa que es la del 1,3 y 9 o alguna que involucre similar asignación, permitiendo observar el rango de relación existente (Ruiz, 2009, pp.12-25).

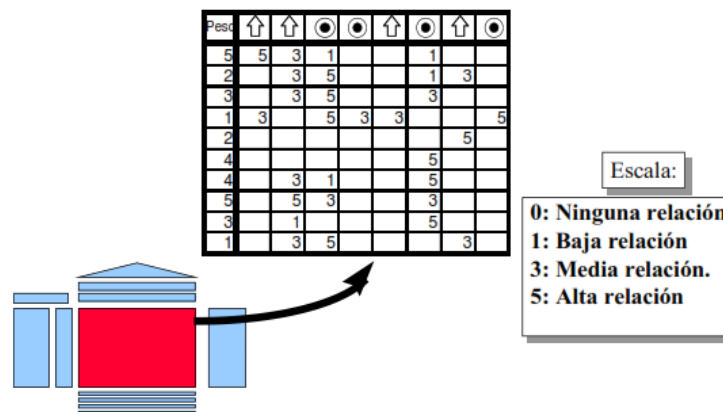


Ilustración 16-2: Relación entre el qué busca el cómo se solucionará los problemas.

Fuente:(Ruiz, 2009, pp.12-25).

Octavo paso:

En el trabajo de Vargas, (2019, pp.56-57) se menciona en concreto que “En este paso se pretende llegar a la cuantificación de los valores objetivos de los “cómos”, para ello es conveniente, representar el nivel de desempeño al que se deben llevar los cómos para garantizar la satisfacción del cliente” (Vargas, 2019, pp.56-57).

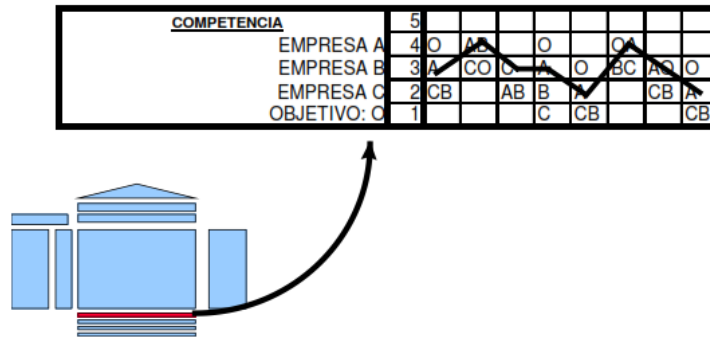


Ilustración 17-2: Cuantificación de los objetivos de las soluciones “Cómos”.

Fuente:(Ruiz, 2009, pp.12-25).

Noveno paso:

En este paso se analiza finalmente todas las ideas de cómo se va a dar solución al problema ponderando cada uno de ellos según la complejidad que involucre el mismo, ya que estos han de involucrar ciertos requerimientos que pueden complicar su cumplimiento como tiempo, dinero, personal, entre otros. Para ello se da un nivel de complejidad mediante un valor y se va jerarquizando y generando evidentemente un nivel de prioridad en cuanto a cada uno de ellos (Ruiz, 2009, pp.12-25).

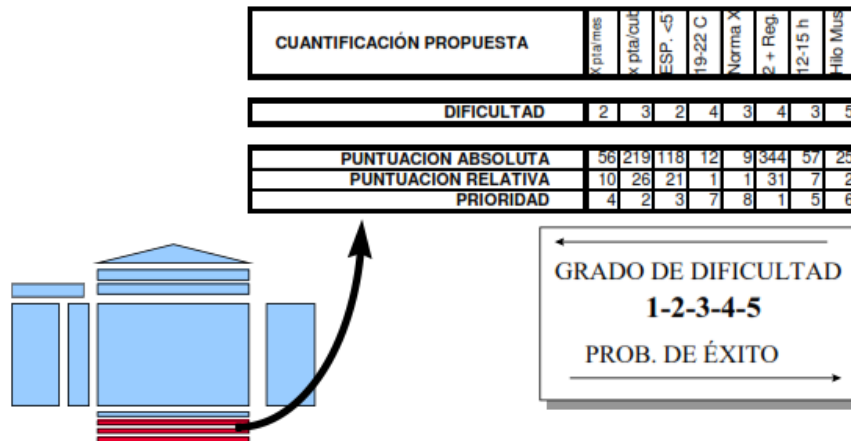


Ilustración 18-2: Jerarquización de las soluciones “Cómos”.

Fuente:(Ruiz, 2009, pp.12-25).

2.15. Matriz morfológica

Es una herramienta muy poderosa para generar gran cantidad de ideas de forma rápida y sencilla es el análisis morfológico, también conocido como modelo de la “caja morfológica”. Desarrollado por el astrónomo y físico, *Fritz Zwicky*, a mediados de los años 40, mientras trabajaba analizando la estructura de la tecnología del motor de los aviones a reacción.

El proceso de la matriz morfológica es muy sencillo. En primer lugar, se analiza el problema en estudio, éste se descompone en sus elementos esenciales. Identificados estos elementos

o atributos se construye una matriz que permitirá combinarlos y multiplicar así las relaciones entre ellos (Suárez, 2014). Los cinco pasos para seguir el análisis morfológico son los siguientes:

- **Definición del problema**

Debemos especificar claramente cuál es el problema para estudiar y poder descomponerlo en sus elementos más básicos.

- **Identificación y caracterización de los parámetros**

Los parámetros o atributos son los elementos esenciales que forman la estructura global del problema. Hay que identificar aquellos parámetros que son pertinentes y suficientemente relevantes para tenerlos en cuenta y así aplicar este segundo paso.

- **Construcción de una matriz (caja morfológica) cuyas combinaciones incluyan las soluciones posibles.**

De una forma básica podemos, tras definir la lista de parámetros, identificar todas las variaciones que se nos ocurran para cada parámetro o atributo.

- **Combinar posibilidades**

Con la matriz completa, hacemos recorridos al azar a través de los parámetros y variaciones, seleccionando uno o más de cada columna conectándolos para configurar una posibilidad.

- **Evaluación y análisis de las mejores posibilidades**

Una vez hayamos “descubierto” las mejores posibilidades, debemos evaluar esas nuevas ideas para analizar su viabilidad y aplicabilidad en nuestro caso real. Tendremos que considerar variables como tiempos de aplicación/producción, costes, viabilidad económica y técnica, etc (Suárez, 2014).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

Para el trabajo actual se decidió por una metodología de ingeniería, la cual se refiere a la recopilación de información, establecimiento de requerimientos, cálculo de variables requeridas, diseño del prototipo en SolidWorks, simulación en ANSYS, análisis de resultados, correcciones de diseño, construcción del prototipo y pruebas del prototipo.

3.1. Definición del producto

Priorizar los requisitos de los usuarios

Este paso asigna la calificación de importancia relativa a cada requisito del usuario mediante el uso de una escala de 5 puntos definida por la ecuación.

$$I_r = \sum_{j=1}^C \frac{I_{rj}}{C}; r = 1,2,3, \dots; R \quad (3)$$

Tabla 1-3: Valor de evaluación de encuestas.

Valor	Descripción	Calificación
1	Nada importante	0
2	Poco importante	0,5
3	Bastante importante	0,75
4	Muy importante	1
5	Extremadamente importante	1

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023

Preguntas para la encuesta a usuarios

Mediante la encuesta “Encuesta de análisis de necesidades del usuario” se buscó determinar cuáles son los requerimientos primordiales que busca el usuario, de entre los parámetros se tuvo:

Tabla 2-3: Preguntas de la encuesta

Clasificación	Requerimientos del usuario	
Funcional	1	Piezas livianas
	2	Recursos de armado mínimos
	3	Pocas piezas
	4	Transportación fácil
Físico	5	Resiste las cargas establecidas
	6	Resiste al medio ambiente
	7	Fuerza de tracción

Ergonómicos	8	Comodidad
	9	Fácil de operar
Confiabilidad	10	Segura
	11	Vida útil prolongada
	12	Fácil mantenimiento
	13	Resistencia a cargas
Económicos	14	Más económico que las importaciones
	15	Buena relación costo-beneficio
	16	Repuestos económicos

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023

Para el cálculo del tamaño de la muestra se usó la fórmula:

$$\text{Tamaño de muestra} = \frac{\frac{z^2 * p * (1-p)}{e^2}}{1 + \left(\frac{z^2 * p * (1-p)}{e^2 * N} \right)} \quad (4)$$

N = Tamaño de la población

e = margen de error (porcentaje expresado con decimales)

z = puntuación z

p = (0.5) proporción de individuos que poseen en la población la característica de estudio

e = (0.05) límite aceptable de error muestral

La puntuación z es la cantidad de desviaciones estándar que una proporción determinada se aleja de la media. Para un nivel de confianza del 95% el valor de z= 1.96

$$\text{Tamaño de muestra} = \frac{\frac{1,96^2 * 0,5 * (1-0,9)}{0,05^2}}{1 + \left(\frac{1,96^2 * 0,5 * (1-0,9)}{0,05^2 * 50} \right)} = 30$$

Tabla 3-3: Tabulación de resultados de la encuesta

Clasificación	#	Requerimientos del diseño	1	2	3	4	5	Valor	Descripción	Calificación
Funcional	1	Piezas livianas	4	5	8	10	3	4	Muy importante	1
	2	Recursos de armado mínimos	5	2	10	5	8	3	Muy importante	1
	3	Pocas piezas	3	3	5	11	8	4	Muy importante	1
	4	Transportación fácil	2	5	4	12	7	4	Muy importante	1

Físico	5	Resiste las cargas establecidas	5	3	8	5	9	5	Bastante importante	0,75
	6	Resiste al medio ambiente	8	10	4	4	4	2	Bastante importante	0,75
	7	Fuerza de tracción	3	4	2	3	18	5	Bastante importante	0,75
Ergonómicos	8	Comodidad	5	5	6	4	10	5	Bastante importante	0,75
	9	Fácil de operar	3	3	4	11	9	4	Bastante importante	0,75
Confiabilidad	10	Segura	2	2	5	11	12	5	Extremadamente importante	1
	11	Vida útil prolongada	7	3	12	4	4	3	Bastante importante	0,75
	12	Fácil mantenimiento	4	2	3	12	9	4	Importante	0,75
	13	Resistencia a cargas	4	5	13	2	6	3	Bastante importante	0,75
Económicos	14	Más económico que las importaciones	2	2	3	4	19	5	Importante	0,75
	15	Buena relación costo-beneficio	5	5	12	4	4	3	Bastante importante	0,75
	16	Repuestos económicos	3	6	5	11	5	4	Bastante importante	0,75

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023.

3.2. Análisis de competencias

Si nos disponemos en hacer memoria, se puede interpretar que el ver personas usando sillas de ruedas no es algo muy común más, sin embargo, el ver a alguien usando este tipo de implementos con un medio de impulsión motriz lo es mucho menos. Su popularización está ligada a varios factores, como el precio, marca, estética, ergonomía, peso, volumen entre otros. A continuación, se realizará un análisis de los productos ofrecidos en el mercado local o internacional, con sus debidas características, en ellos se priorizará el análisis en los factores antes mencionados, esperando con ello observar falencias o puntos bajos que puedan ser cubiertos. Una de las primeras observaciones que cabe recalcar es que este tipo de implementos no se encuentran con facilidad en el país, lo que implica que, de querer valerse de su uso, será necesario importarlo del exterior, lo que aumentaría el gasto por cuestiones de envío, así como la espera de la estrega.

El siguiente análisis de competencia se realizará comprando diferentes prototipos realizados en trabajos de investigación en el país, por el hecho de que no existe como tal un producto comercial nacional.

3.2.1. Competencia 1: Silla de ruedas con sistema de propulsión anclable

En este trabajo de investigación 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. El prototipo se construyó con un sistema de propulsión eléctrico, su principal material de construcción fue el acero estructural A36. La estética del modelo no es de destacar (Quinatoa & Veloz, 2019, pp.47-59).



Ilustración 1-3: Sistema de propulsión acoplado a la silla de ruedas competencia 1

Fuente: (Quinatoa & Veloz, 2019, pp.47-59).

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023.

- Propulsión: eléctrica
- Principal material de construcción: acero A36
- Velocidad máxima en plano: 12 km/h
- Velocidad máxima en pendiente: 5 km/h
- Motor brushless de 350 Watts
- Batería de litio de 36 V
- Controlador de 15 amperios
- Autonomía: 16 km a carga completa
- Peso de prototipo: 17 kg
- Carga máxima: 100 kg
- Colores: negro y plomo

3.2.2. Competencia 2: Silla de ruedas con sistema de control de comandos de voz

En este trabajo se presenta el control de la silla mediante comandos de voz: el comando emitido es adquirido por un micrófono y procesado por el software de reconocimiento de voz. Para precautelar la integridad y seguridad del usuario, la silla posee seis sensores ultrasónicos: dos en la parte frontal y posterior, que permiten detectar obstáculos que impactarían al usuario, cuatro detectan desniveles o pendientes pronunciadas, ante lo cual los motores de la silla se detienen inmediatamente (Paredes, 2020, pp.IV).



Ilustración 2-3: Silla de ruedas con sistema de control de voz

Fuente: (Paredes, 2020, pp.IV).

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023

- Propulsión: eléctrica
- Principal material de construcción: acero y aluminio
- Velocidad máxima en plano: 10 km/h
- Motor: 4 polos No. Parte: 1070291
- Batería de 12 V, 34 Ah
- Autonomía: 30 km a carga completa
- Peso total del equipo completo: 121 kg
- Colores: negro y azul

3.2.3. Competencia 3: Diseño de silla de ruedas motorizada a bajo costo

En la competencia 3 se describe un trabajo en donde se diseña una silla de ruedas motorizada, se incluye en el prototipo con timón, una tercera rueda delantera con tracción, además de poseer un sistema de control de velocidad. Se obtuvo un diseño de silla de ruedas motorizada versátil en su uso y de relativo bajo costo de producción (Coello & Santis, 2015, pp.29.).

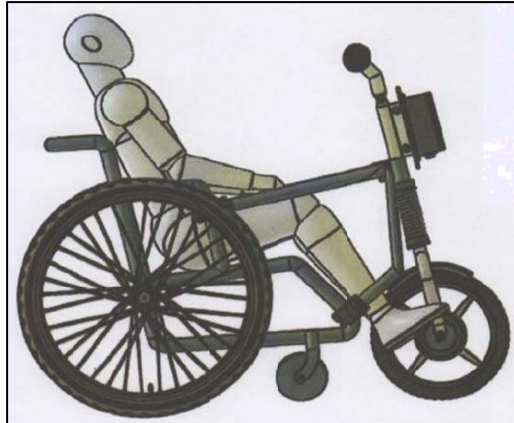


Ilustración 3-3: Silla de ruedas motorizada

Fuente: (Coello & De Santis, 2015, pp.29.).

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023.

- Propulsión: eléctrica
- Principal material de construcción: ASTM A500
- Velocidad máxima en plano: 6 km/h
- Motor busheles de 350 Watts
- Batería de ion litio 36 V
- Controlador de velocidades LCD 12 a 36 V
- Autonomía: 24.3 horas de uso continuo
- Cargador 12 V portátil
- Peso de prototipo: 16 kg
- Colores: negro y blanco

3.3. Desarrollo de la casa calidad

3.3.1. Voz del usuario

De acuerdo con las consideraciones del usuario el scooter debe contar con las siguientes características:

- Piezas livianas
- Recursos de armado mínimos
- Pocas piezas
- Fácil de transportar
- Resiste las cargas restablecidas
- Resistencia al medio ambiente
- Área de soporte amplia
- Comodidad

- Fácil de operar
- Segura
- Vida útil prolongada
- Fácil mantenimiento
- Resistencia a cargas
- Más económica que las importadas
- Buena relación costo-beneficio
- Repuestos económicos

3.3.2. *Voz del ingeniero.*

Una vez establecido lo que requiere el usuario, la información se procesa para obtener especificaciones y características técnicas:

- Funcional
- Físico
- Ergonómicos
- Confiabilidad
- Económicos

3.3.3. *Despliegue de la función calidad (casa calidad)*

La matriz de la casa de la calidad traduce las demandas de los usuarios en requerimientos técnicos del producto. A continuación, se presenta la casa calidad del prototipo:

# de Fila	Valor máximo de relación en la fila	Peso relativo	Importancia	CÓMOS	Columna #					Análisis competitivo		
					1	2	3	4	5	Competencia 1	Competencia 2	Competencia 3
				QUÉS	Funcional	Físico	Ergonomía	Confiable	Económica			
				Dirección de mejoramiento	▲	×	▲	×	▼			
1	9	13	4	Piezas livianas	○	▲		▲	○	3	2	2
2	9	10	3	Recursos de armado mínimos	○					2	2	3
3	9	13	4	Pocas piezas	○		○	▲	○	2	1	2
4	9	13	4	Transportación fácil	○		○	▲	○	3	2	3
5	9	16	5	Resiste las cargas establecidas	○	○		○	○	4	3	4
6	9	6,6	2	Resistencia al medio ambiente		○				4	3	4
7	9	16	5	Fuerza a la tracción		○	○	○	○	1	2	2
8	9	16	5	Comodidad			○			2	5	3
9	9	13	4	Fácil de operar	○		○			4	4	4
10	9	16	5	Segura	▲	○		○	○	4	5	4
11	9	10	3	Vida útil prolongada		○		○	○	5	4	4
12	9	13	4	Fácil mantenimiento			▲	○	○	3	2	3
13	9	10	3	Resistencia a cargas	○				○	3	3	2
14	9	16	5	Más económico que las importaciones		○	▲		○	4	2	3
15	9	10	3	Buena relación costo-beneficio	▲	○		▲	○	3	3	3
16	1	13	4	Repuestos económicos	○	▲		○		2	4	3
Valor limite					Muy funcional	100 kg	Muy cómodo	Seguro	Económico			
Dificultad (fácil 1 - difícil 10)					9	6	4	5	7			
Valor máximo de relación en la columna					9	9	9	9	9			
Peso/importancia					857	841	572	631	1026			
Peso relativo					21,8	21,4	14,5	16	26,2			

Leyenda		
○	Relación fuerte	9
○	Relación moderada	3
▲	Relación débil	1
+	Correlación posit. fuerte	
+	Correlación positiva	
-	Correlación negativa	
▼	Correlación neg. fuerte	
▼	Objeto a minimizar	
▲	Objeto a maximizar	
×	Objeto de meta	

Ilustración 4-3: Casa de la calidad

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023

Tabla 4-3: Análisis de competencia

		Prototipo	Competencia 1	Competencia 2	Competencia 3
1	Piezas livianas	4	3	2	2
2	Recursos	3	2	2	3
3	Pocas piezas	4	2	1	2
4	Transportación	4	3	2	3
5	Resiste cargas	5	4	3	4
6	Resistencia al medio	2	4	3	4
7	Fuerza a la tracción	5	1	2	2
8	Comodidad	5	2	5	3
9	Fácil de operar	4	4	4	4
10	Segura	5	4	5	4
11	Vida útil	3	5	4	4
12	Mantenimiento	4	3	2	3
13	Resistencia a fuerzas	3	3	3	2
14	Económico	5	4	2	3
15	Costo/beneficio	3	3	3	3
16	Repuestos	4	2	4	3

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023

Según el análisis competitivo el punto a mejorar mayormente en comparación a la competencia es la resistencia al medio ambiente y los otros puntos a mejorar levemente son: recursos de armado mínimo, vida útil y la resistencia a cargas. Es importante hacer hincapié en lo que pide el usuario, en la búsqueda de características que no tienen los actuales modelos, una de las más pedidas fue la fuerza de tracción del motor, como sabemos en Riobamba y en el país en general las vías no son buenas y los espacios destinados a sillas de ruedas no siempre están en el mejor estado.

3.3.4. Especificaciones técnicas

Las especificaciones técnicas determinan los parámetros esenciales del diseño, mediante un proceso sistemático se realiza la descripción de cada especificación detallada de la tabla donde:

Propone:

- C = Cliente
- I = Ingeniería

R/D:

- R = Requerimiento
- MR = Modificación de requerimiento
- NR = Nuevo requerimiento
- D = Deseo

Tabla 5-3: Especificaciones técnicas para el diseño y construcción

EMPRESA/CLIENTE: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	PRODUCTO: SILLA DE RUEDAS AUTO		
ESPECIFICACIONES			
Concepto	Propone	R/D	Descripción
Función	C	R	Autonomía
	C	R	Resistencia al medio ambiente
	I	R	Mantenimiento preventivo
	I	R	Ecológico
Dimensión	C+I	R	El peso de baterías debe ser mínimo
	I	R	Forma y geometría deberá ser optimizado
	I	R	Densidad de los materiales mínima
Movimiento	C	R	Debe ser autónomo entre las diferentes piezas
	I	R	Fácil transportación del prototipo
Ensamble	C	R	Arme y desarme rápido
Fuerzas	I	R	Resistencia al peso vivo del ocupante
	I	R	Distribución correcta de las masas muertas
Materiales	I	R	Resistencia a las cargas vivas y muertas
	I	R	Materiales amigables con el medio ambiente
Seguridad	I	R	Proveer de protección en caso de falla del prototipo
	I	R	Seguridad pasiva, direccionales, espejos retrovisores, etc.

	I	R	Buen Factor de seguridad
Vida útil	C+I	R	Mantenimiento preventivo
Costos	C	R	Bajos costos de fabricación
Aspectos Legales	C+I	R	Normativas del municipio donde se utilice

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023

3.4. Diseño conceptual

3.4.1. Análisis funcional

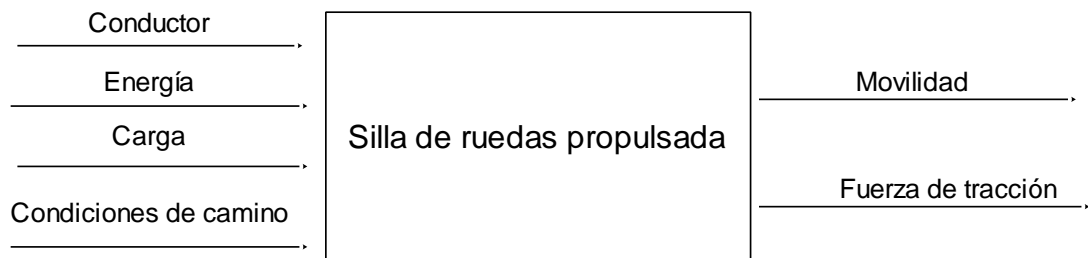


Ilustración 5-3: Organigrama nivel 0

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023

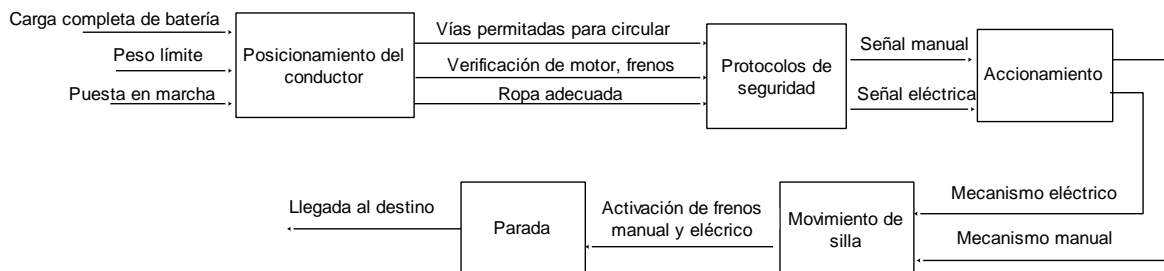




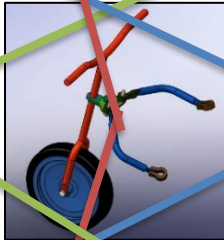

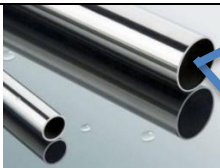




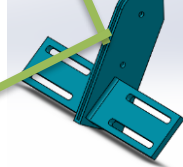








Ilustración 6-3: Organigrama nivel 1

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023

3.4.2. Matriz morfológica

Tabla 6-3: Matriz morfológica de las alternativas de un scooter

Indicador	Componente		
Tipo de rueda	Rueda de goma	Rueda inflada	Rueda desmontable (con motor)
			
Forma de manubrio	Con apoyo	Simple	Doble
			
Materiales	Acero inoxidable	Aluminio	Acero estructural
			
Unión manubrio-brazos	Unión compuesta	Unión simple	Unión de placa
			
Alimentación	Batería de plomo-ácido	Batería de litio	Batería níquel-hierro
			
Motor	Motor comercial de bicicleta	Motor comercial silla de ruedas	Motor de cubo
			
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023.

3.4.3. Generación de Alternativas

3.4.3.1. Alternativa 1



Ilustración 7-3: Alternativa 1

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023.

Prototipo con rueda inflada, con manubrio y unión compuesta, con alimentación de batería de níquel-hierro la cual alimenta un motor comercial de bicicleta. El material de construcción principal es el aluminio.

3.4.3.2. Alternativa 2

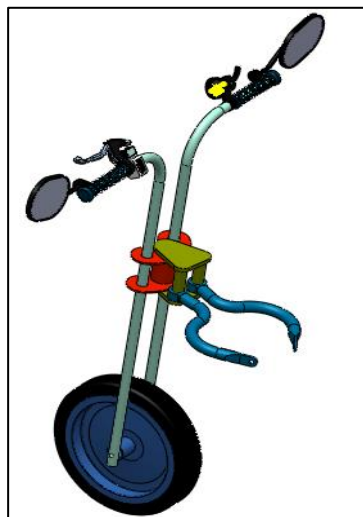


Ilustración 8-3: Alternativa 2

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023.

La alternativa 2 se compone de una rueda de goma, con un manubrio doble, una batería de litio que alimenta un motor tipo comercial de sillas de ruedas y su material de construcción principal es el acero inoxidable.

3.4.3.3. Alternativa 3



Ilustración 9-3: Alternativa 3

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023.

En la alternativa 3 se tiene una llanta desmontable con motor incluido, con un manubrio y unión simple, el prototipo es alimentado con una batería de plomo ácido y un motor de cubo. El material de construcción elegido es el acero estructural.

3.5. Evaluación de alternativas

En este punto del trabajo se utiliza el método ordinal corregido de criterios ponderados. El cual permite evaluar los aspectos más importantes para determinar algunos de los caminos que se deben evitar durante un proceso de desarrollo.

Asignamos 1 si el criterio de las filas es superior que el de las columnas, 0,5 si el criterio de las filas son equivalentes al de las columnas y 0 si el criterio de las filas es inferior que el de las Columnas (Riba, 2002, pp.59-62).

Criterios de valoración de las alternativas

Funcionalidad: Corresponde al peso máximo del prototipo para que pueda ser cómodamente trasladable en caso de que se necesite desmontarlo; también hace referencia la cantidad de piezas en las cuales se desarma para su traslado.

Costo: Es el desembolso económico que se realiza para la producción de algún bien o la oferta de algún servicio. El costo incluye la compra de piezas, el pago de la mano de obra, los gastos en la producción y demás gastos que conllevan producir un producto.

Seguridad: Engloba los procesos y sistemas destinados a evitar o reducir accidentes al momento de utilizar la silla de ruedas autopropulsada.

Ergonomía: Se refiere a la comodidad al usar el prototipo en conjunto con la silla, además de la facilidad de operación de este.

Movilidad: esto se refiere a que tanta velocidad puede mover el motor al dispositivo, con qué fuerza de tracción puede impulsarlo, etc. Son variables que también inciden mucho en la decisión del usuario al momento de adquirir una silla autopropulsada.

Tabla 7-3: Evaluación de los pesos específicos de las distintas soluciones

Movilidad > Costo = Funcionalidad > Seguridad = Ergonomía							
Criterio	Movilidad	Costo	Funcionalidad	Seguridad	Ergonomía	$\Sigma+1$	Ponderación
Movilidad		1	1	1	1	5	0,33
Costo	0		0,5	1	1	3,5	0,23
Funcionalidad	0	0,5		1	1	3,5	0,23
Seguridad	0	0	0		0,5	1,5	0,1
Ergonomía	0	0	0	0,5		1,5	0,1
Suma						15	1

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023

Tabla 8-3: Evaluación del peso específico del criterio movilidad

Alternativa 1 = Alternativa 3 > Alternativa 2					
Movilidad	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	0,5	2,5	0,42
Alternativa 2	0		0	1	0,17
Alternativa 3	0,5	1		2,5	0,42
Suma				6	1

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023.

Tabla 9-3: Evaluación del peso específico del criterio costo

Alternativa 1 > Alternativa 3 = Alternativa 2					
Costo	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	1	3	0,55
Alternativa 2	0		0	1	0,18
Alternativa 3	0	0,5		1,5	0,27
Suma				5,5	1

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023.

Tabla 10-3: Evaluación del peso específico del criterio funcionalidad

Alternativa 3 > Alternativa 2 = Alternativa 1					
Funcionalidad	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0,5	0	1,5	0,25
Alternativa 2	0,5		0	1,5	0,25
Alternativa 3	1	1		3	0,50
			Suma	6	1

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023.

Tabla 11-3: Evaluación del peso específico del criterio seguridad

Alternativa 2 > Alternativa 3 = Alternativa 1					
Seguridad	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	0,5	1,5	0,30
Alternativa 2	1		0	2	0,40
Alternativa 3	0,5	0		1,5	0,30
			Suma	5	1

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023.

Tabla 12-3: Evaluación del peso específico del criterio ergonomía

Alternativa 2 > Alternativa 3 > Alternativa 1					
Ergonomía	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	0	1	0,17
Alternativa 2	1		1	3	0,50
Alternativa 3	1	0		2	0,33
			Suma	6	1

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023.

Tabla 13-3: Conclusiones de alternativas

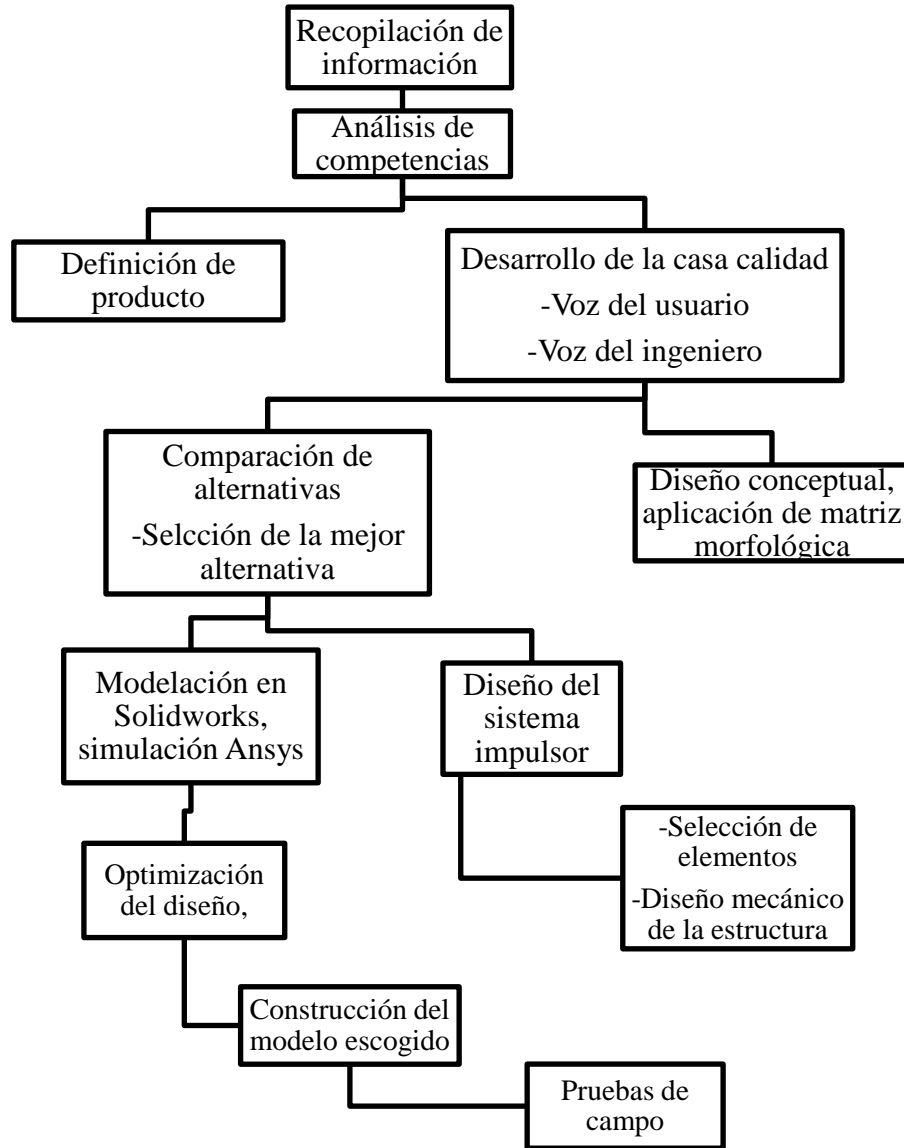
Conclusión	Movilidad	Costo	Funcionalidad	Seguridad	Ergonomía	Σ	Prioridad
Alternativa 1	0,139	0,127	0,058	0,030	0,02	0,371	2
Alternativa 2	0,056	0,042	0,058	0,040	0,05	0,246	3
Alternativa 3	0,139	0,064	0,117	0,030	0,03	0,383	1

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023.

De acuerdo con la metodología de evaluación de alternativas la más adecuada es la propuesta de solución 3: la cual tiene una llanta desmontable con motor de cubo incluido, con un manubrio y unión de placa, el prototipo es alimentado con una batería de plomo ácido. El material de construcción elegido es el acero estructural.

3.6. Diseño del mecanismo impulsor

3.6.1. Diagrama de procesos de diseño y construcción del prototipo



3.6.2. Parámetros de diseño

En esta sección se establece los parámetros que se utilizan para el diseño que permiten cubrir los requerimientos de los usuarios. Los parámetros escogidos para el diseño son:

- Fuerza de tracción
- Peso del usuario
- Peso del prototipo
- Peso de la silla
- Dimensiones del prototipo
- Velocidad del equipo
- Autonomía energética del equipo
- Fácil de operar y transportar

3.6.3. Fuerzas que actúan sobre el sistema

Tabla 14-3: Características preliminares de la silla de ruedas y del ambiente

Tipo de motor	Motor de cubo sin escobillas
Sistema de transmisión	Directo
Coefficiente de resistencia a la rodadura	0,015
Peso total de silla, sistema impulsor y ocupante	107 kg
Velocidad máxima para alcanzar	20 km/h
Velocidad máxima para alcanzar en pendiente	5 km/h
Pendiente máxima	12 %
Densidad del aire en Riobamba	0,84 kg/m ³
Coefficiente de arrastre (Cd)	0,5

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023.

Las fuerzas que afectan a la silla de ruedas y su sistema impulsor son la de fuerza de rozamiento (F_r), la resistencia aerodinámica, (F_a) y fuerza de escalada (F_{hc}), esta se toma en cuenta basándonos en que la mayor fuerza de tracción que debe tener el motor es cuando el sistema intente subir por una pendiente (Larmine & Lowry, 2012).

3.6.3.1. Cálculo de la fuerza de rozamiento

Esta fuerza de rozamiento es la que se produce al tocar el caucho con las llantas y el concreto/asfalto del suelo.

Para el cálculo de esta fuerza se utiliza la siguiente ecuación:

$$F_r = u_r * m * g * \cos(\alpha) \quad (5)$$

Donde:

F_r = Fuerza de rozamiento (N)

μ_r = coeficiente de fricción entre caucho y el cemento (0,015)

m = masa total a mover (kg)

g = gravedad (m/s^2)

α = ángulo de la pendiente máxima establecida (12%) ($^\circ$)

$$F_r = 0,015 * 107kg * 9,8m/s^2 * \cos (6,85^\circ)$$

$$F_r = 15,61 N$$

Es importante señalar que esta fuerza sólo se presenta al momento del arranque de la silla.

3.6.3.2. Cálculo de la resistencia aerodinámica



Ilustración 10-3: Vista frontal del prototipo

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023.

Se calcula el área frontal de la silla junto con el prototipo pues es la parte que recibirá la fuerza de resistencia del aire.

$$A = a * h \tag{6}$$

Donde:

A = área (m^2)

a = ancho (m)

h = altura (m)

$$A = (0,60m * 0,6m) + (0,47m * 0,3984m) + (0,11m * 0,05m) + (0,5m * 0,035m)$$

$$A = 0,57 m^2$$

Para el cálculo de la resistencia aerodinámica se utiliza la siguiente ecuación:

$$F_a = \frac{1}{2} * \rho * A * C_d * v^2 \tag{7}$$

Donde:

F_a = Resistencia aerodinámica (N)

ρ = densidad del aire (kg/m^3)

C_d = coeficiente de arrastre (0,5)

v = velocidad de pendiente (m/s)

La densidad del aire es tomada de la ciudad de Riobamba y es de $0,84 kg/m^3$, el coeficiente de arrastre viene dado por la forma del prototipo y la silla así que se toma el valor de una forma irregular de 0,5; el valor de la velocidad de pendiente aproximado es $1,4 m/s$.

$$F_a = \frac{1}{2} * 0,84 kg/m^3 * 0,57 m^2 * 0,5 * (1,4 m/s)^2$$

$$F_a = 0,234 N$$

3.6.3.3. Cálculo de la fuerza de escalada

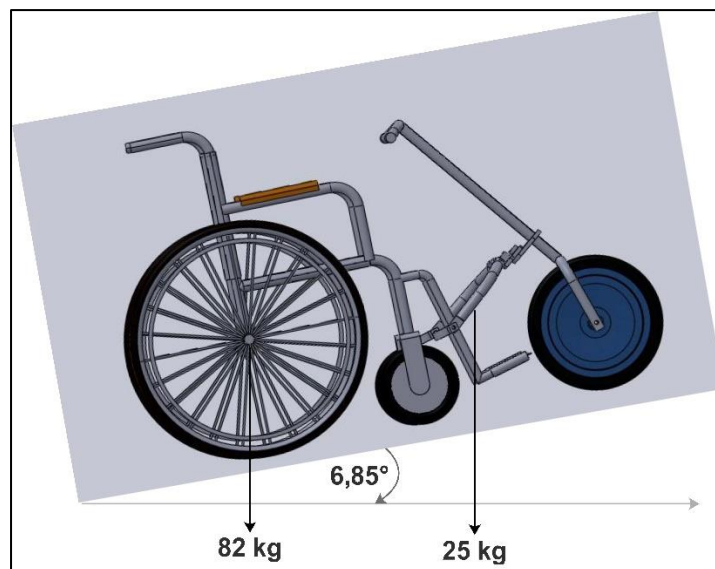


Ilustración 11-3: Peso total del sistema

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023.

El peso total calculado será la fuerza dirigida en el eje y, F_{hc} , a continuación, se calcula esta fuerza con la siguiente ecuación:

$$F_{hc} = m * g * \text{sen} * \varphi \quad (8)$$

Donde,

F_{hc} = fuerza vertical dirigida hacia abajo (N)

m = masa (kg)

φ = ángulo de inclinación ($^\circ$)

$$F_{hc} = 107 kg * \frac{9,8 m}{s^2} * \text{sen}(6,85^\circ)$$

$$F_{hc} = 125,026 N$$

3.6.3.4. Cálculo de la fuerza de tracción eléctrica total

Esta fuerza (F_{te}) hace referencia a la fuerza mínima de tracción eléctrica que debería poseer el motor para mover todo el sistema con una aceleración mínima establecida de la velocidad mínima que se espera alcanzar. (Larminé & Lowry, 2012).

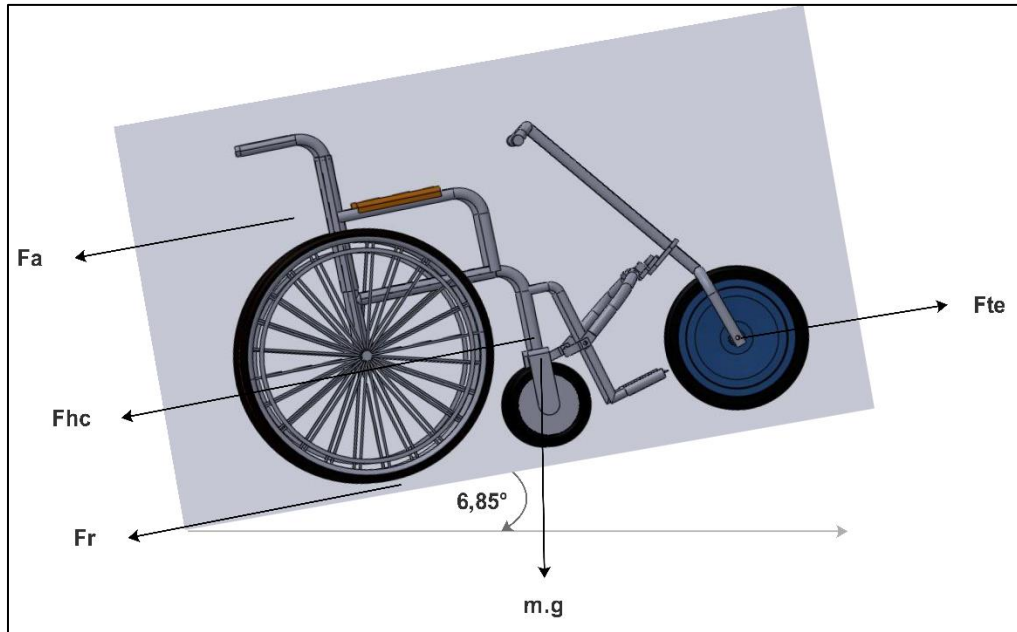


Ilustración 12-3: D.C.L del sistema

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023.

Se han obtenido todas las fuerzas que intervienen en el sistema, lo siguiente es hacer sumatoria de fuerzas aplicando la segunda ley de Newton, para ello se debe tomar en cuenta la aceleración a la que se moverá la silla de ruedas. Se procede a calcular la aceleración tomando los siguientes valores. Se tiene una velocidad inicial de $V_0 = 0 \text{ m/s}$, se espera que se alcance una velocidad de 5 km/h a unos 12 m desde el punto de partida.

$$a = \frac{v_f^2 - v_o^2}{2d} \tag{9}$$

$$a = \frac{\left(\frac{1,388\text{m}}{\text{s}}\right)^2 - 0^2}{2(12\text{m})}$$

$$a = 0,0802 \text{ m/s}^2$$

Una vez obtenida la aceleración procedemos a calcular F_{te} :

$$F_{te} = m \cdot a + F_{hc} + F_a + F_r$$

Donde,

F_{te} = Fuerza de tracción eléctrica total (N)

F_{ma} = Fuerza de aceleración (N)

F_{hc} = Fuerza de escalada (N)

F_r = Fuerza de rozamiento (N)

F_a = Fuerza de resistencia aerodinámica (N)

$$F_{te} = (107\text{kg} * 0,0802 \text{ m/s}^2) + 125,026 \text{ N} + 0,234 \text{ N} + 15,61 \text{ N}$$

$$\mathbf{F_{te} = 149,45 \text{ N}}$$

La fuerza F_{te} deberá ser mayor en cuanto aumente la pendiente.

3.6.4. Cálculo del torque requerido

Para calcular el torque requerido en un motor eléctrico se procede a multiplicar la fuerza F_{te} por el radio de la rueda, tomando en cuenta además la relación de transmisión, sin embargo, en este caso al existir transmisión directa $G=1$.

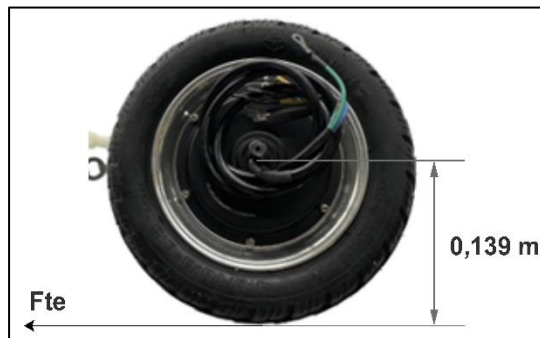


Ilustración 13-3: Fuerza de arranque y radio en la rueda

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023.

$$T = F_{te} * \frac{r}{G} \tag{10}$$

Donde,

T = Torque requerido (Nm)

F_{te} = Fuerza de tracción eléctrica (N)

r = radio de la rueda (m)

G = relación de transmisión

$$T = 149,45 \text{ N} * \frac{0,139 \text{ m}}{1}$$
$$\mathbf{T = 20,774 \text{ Nm}}$$

El torque requerido calculado es de 20,774 Nm para una fuerza máxima de 149,45 N

3.6.5. Cálculo de la velocidad angular

Para calcular la velocidad angular es necesaria tomar el dato de la velocidad máxima a la que se moverá el prototipo, se espera que se logre una velocidad máxima de 25 km/h o 6,945 m/s.

$$\omega = \frac{V_{max}}{r} \quad (11)$$

Donde,

ω = velocidad angular (rad/s)

V_{max} = velocidad máxima alcanzada por el prototipo (m/s)

r = radio de la rueda (m)

$$\omega = \frac{6,945 \text{ m/s}}{0,139\text{m}}$$

$$\omega = 49,964 \text{ rad/s}$$

Transformando a rpm.

$$\frac{49,964\text{rad}}{\text{s}} * \frac{60\text{s}}{1 \text{ min}} * \frac{1 \text{ rpm}}{2\pi \text{ rad}} = \mathbf{477, 12 \text{ rpm}}$$

3.6.6. Cálculo de la potencia requerida

La potencia requerida se calcula con la siguiente ecuación:

$$P_{req} = F_{te} * V_{max} \quad (12)$$

Donde,

P_{req} = Potencia requerida (watts)

F_{te} = Fuerza de tracción eléctrica (N)

V_{max} = velocidad máxima alcanzada por el prototipo en pendiente (m/s)

$$P_{req} = 149,45 \text{ N} * 1,389 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\mathbf{P_{req} = 207, 586 \text{ watts}}$$

Se ha calculado la potencia requerida, pero los motores eléctricos poseen una eficiencia por lo tanto se debe calcular la potencia del motor a seleccionar. Los motores eléctricos tienen una eficiencia entre el 80% al 90% (Chuquiana et al, 2010). Para el cálculo se tomará una eficiencia del 85%, ya que en la sección de selección de alternativas se preseleccionó un motor de cubo y estos poseen una alta eficiencia.

$$P_{motor} = \frac{P_{req}}{\eta} \quad (13)$$

Donde,

P_{motor} = Potencia de motor (watts)

P_{req} = Potencia requerida (watts)

η = Eficiencia de motor

$$P_{motor} = \frac{207,586 \text{ watts}}{0,85}$$

$$P_{motor} = 244,2188 \text{ watts}$$

Según los cálculos realizados la potencia de motor para el prototipo es de 244,2188 *watts*, sin embargo, sabemos que esa potencia no existe en motores comerciales, por lo tanto, se procede a realizar una gráfica con un motor de potencia de >400 *watts*, para analizar mejor el torque requerido a diferentes velocidades. Se muestra a continuación la gráfica Torque vs rpm para un motor de 400w.

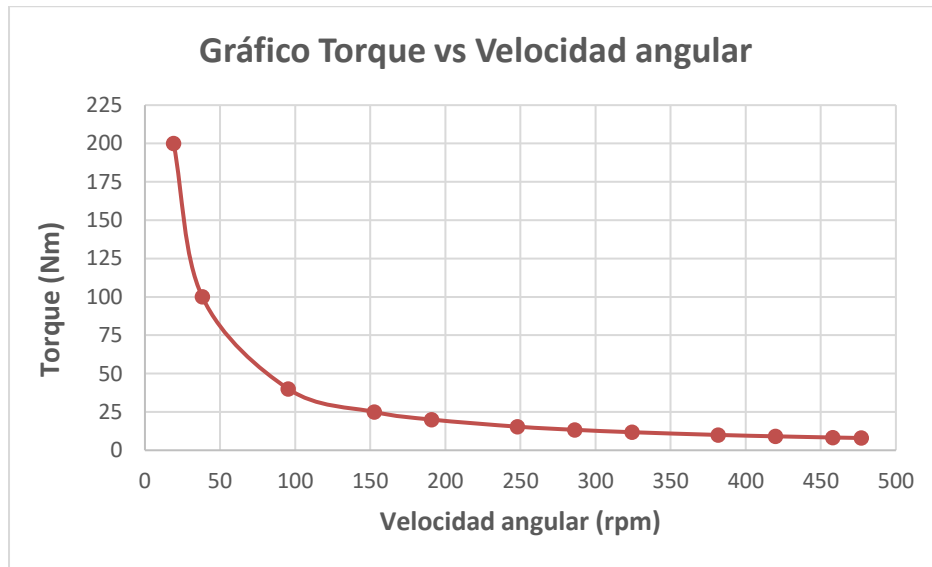


Ilustración 14-3: Gráfico Torque vs Velocidad angular (rpm) - 400w

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023.

Podemos notar que para una velocidad angular de 20 rpm el torque es de 200 Nm aproximadamente; este dato es totalmente lógico ya que a menor velocidad el motor deberá imprimir mayor torque para mover el equipo.

Transformando la potencia requerida a hp:

$$P_{motor} = 244,218 \text{ w} * 1 \frac{\text{hp}}{745,7\text{w}} = 0,327 \text{ hp}$$

3.6.7. Selección del motor

Para la selección de un motor eléctrico es necesario principalmente los datos del torque requerido y la potencia, además de velocidad de rotación.

Tabla 15-3: Factores para la selección del motor

Factores	Medida
Potencia	244,218 watts
Torque	20,774 Nm
Velocidad angular max	477,12 rpm
Fuerza de tracción eléctrica	149,45 N
Motor preseleccionado	Motor de cubo

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023

Entre los factores que intervienen para escoger un motor eléctrico no sólo están los del requerimiento en base a cálculos realizados, sino también se toma en cuenta la estética del motor, el peso, este debe de ser liviano, debe ser relativamente barato y además se tiene en cuenta sus mediadas geométricas.

En la sección de selección de alternativas ya se establece que la mejor opción es un motor de cubo del tipo bicicleta, además se tomó en cuenta en un parámetro muy importante para el usuario es la fuerza de tracción para movilizarse por terrenos difíciles. Por lo tanto, el motor elegido es un motor de la marca Annobike, el cual es un motor fuerte y ligero.

Tabla 16-3: Especificaciones del motor seleccionado

Parámetro	Especificación
Tipo de motor	Motor brushless, sin escobillas sin engranes
Voltaje	48 V
Potencia máxima	1000 w
Corriente	20 A
Velocidad máxima	60 km/h sin peso de carga
Longitud de eje	160 mm
Peso	4,2 kg

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023.

Ahora, se presente la gráfica del comportamiento del motor seleccionado torque vs rpm para el motor de 1000w.

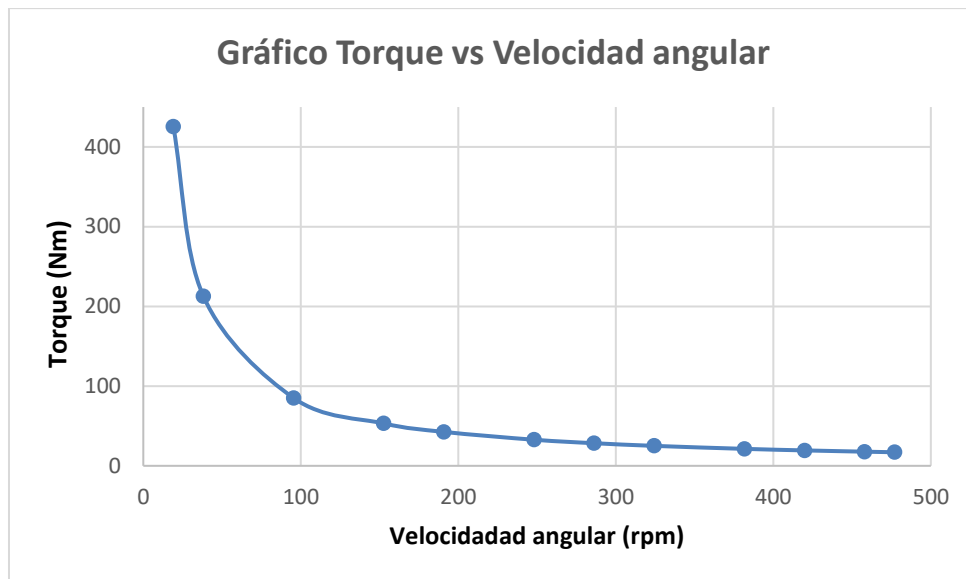


Ilustración 15-3: Gráfico Torque vs Velocidad angular (rpm) – 1000w

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023

3.6.8. Selección del controlador

Para manejar la velocidad y torsión del motor es necesario un controlador, esto se logra mediante el control de la frecuencia y el voltaje de entrada. La función principal de este dispositivo es de repartir los amperios que extrae de la batería hacia el motor. Además, sirve de instrumento de seguridad ya que es responsable de aguantar la corriente máxima de la batería y es lo primero en fallar en caso de un fallo eléctrico, como una subida de tensión (Biobike, 2022). Para este caso en concreto se debe escoger un controlador que funcione correctamente con el motor ya elegido por lo tanto deberá trabajar con un tipo de motor brushless, sin escobillas sin engranes, de voltajes de 36 a 40 V y de potencia mayor a 400 watts. Tomando en cuenta estas características el controlador más aceptable para esta aplicación es justamente un controlador sin escobillas de la marca Lantian.

Tabla 17-3: Especificaciones del controlador seleccionado

Parámetro	Especificación
Tipo de motor para aplicación	Motor brushless, para kit de 1000w
Voltaje nominal	48 V
Potencia nominal	>400 w
Corriente	20 A
Tipo de conexión	Cable electrónico
Peso	227 gr

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023.

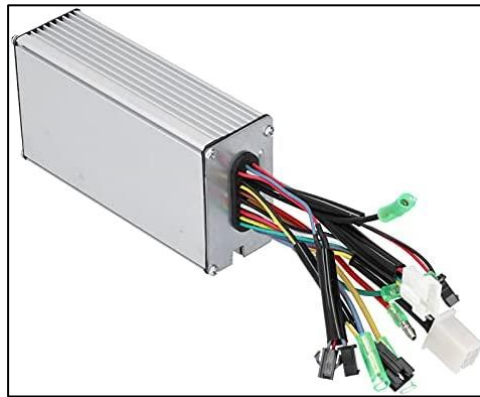


Ilustración 16-3: Controlador de velocidad seleccionado

Fuente: (Biobike, 2022).

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023

3.6.9. Selección del sistema de freno

El prototipo en cuestión es muy de gran parecido a una bicicleta por ello lo más lógico es seleccionar un sistema de frenado que funciona para bicicletas grandes, entre las dos opciones principales se tiene: V-Brake el cual es uso común especialmente para terrenos irregulares y altos niveles de tracción del vehículo, funcionan desarrollando es alta en comparación a la fuerza que ejerce el usuario en las manetas, su ajuste es sencillo y rápido; otro tipo de freno de uso común es el de frenos de disco los cuales funcionan presionando una pinza, ensamblada en la horquilla y cuadro de la bicicleta, en la que unas pastillas, en su interior, presionan unos discos colocados en ambas ruedas y que frenan la rotación de las mismas, el tamaño del mismo depende del tipo de la aplicación, pues este tipo de frenos son ampliamente utilizados en bicicletas de montaña por su buena capacidad de frenado (Terrabike, 2021). Para una silla de ruedas con un peso total de 107 kg y de velocidades de hasta 25 km/h el sistema de frenado más adecuado es un freno de disco ya que este al ser instalado con el tamaño correcto logra parar de manera segura todo el prototipo. El prototipo en cuestión es muy parecido a una bicicleta por ello lo más lógico es seleccionar un sistema de frenado que funciona para bicicletas grandes, entre las dos opciones principales se tiene: V-Brake el cual es uso común especialmente para terrenos irregulares y altos niveles de tracción del vehículo, funcionan desarrollando es alta en comparación a la fuerza que ejerce el usuario en las manetas, su ajuste es sencillo y rápido; otro tipo de freno de uso común es el de frenos de disco los cuales funcionan presionando una pinza, ensamblada en la horquilla y cuadro de la bicicleta, en la que unas pastillas, en su interior, presionan unos discos colocados en ambas ruedas y que frenan la rotación de las mismas, el tamaño del mismo depende del tipo de la aplicación, pues este tipo de frenos son ampliamente utilizados en bicicletas de montaña por su

buena capacidad de frenado (Terrabike, 2021). Para una silla de ruedas con un peso total de 107 kg y de velocidades de hasta 25 km/h el sistema de frenado más adecuado es un freno de disco ya que este al ser instalado con el tamaño correcto logra parar de manera segura todo el prototipo.



Ilustración 17-3: Freno de disco seleccionado

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023

3.6.10. Selección de la batería

En la sección 3.5 ya se preseleccionó una batería de ácido plomo por su alta capacidad, bajo costo y fácil adquisición. La batería deberá tener la capacidad de abastecer a todos los dispositivos que utilicen electricidad. Siendo el factor limitante la capacidad de energía acumulada por unidad de masa y de volumen, traduciéndose esto en una limitación a la autonomía propia del vehículo (Hoyos et al, 2013, pp.62-64), es así como la mejor opción para este tipo de aplicación es la batería recargable de plomo ácido, por su bajo coste y disponibilidad en el mercado.

La batería seleccionada deberá ser capaz de abastecer al motor brushless de al menos 48 V, que es lo que necesita este para funcionar. Por razones de bajo costo y disponibilidad se procede a seleccionar la batería recargable **OUTDO HUAWEI de 12 V y 7,5 Ah** de ácido plomo.

Se necesitan 48 V para hacer funcionar el motor, por ende, se procede a colocar 4 baterías para que sumen el voltaje necesario de funcionamiento. Todos los cálculos que incluyan el voltaje de la batería serán multiplicados x4.

Las baterías suelen tener el problema llamado "efecto memoria". La pila dejaría de estar cargada completamente dando señal de estar completa. Es decir, si el efecto memoria alcanza un 20% de su capacidad, indicará que su carga será del 80% y así irá creciendo hasta tener un efecto memoria elevado. Para evitar el efecto memoria no hay que hacer cargas con las pilas medio o parcialmente cargadas (Hernández & Morales, 2017).

Para tener ciclos de trabajo correctos la batería no tendrá que descargarse más allá del 80%, a continuación, se hace el cálculo de la capacidad específica de la batería.

$$I_{ceb} = \frac{P_{motor} * \eta}{V_{func} * \%descarga} \quad (14)$$

Donde,

I_{bat} = Capacidad específica de la batería (A)

η = eficiencia del motor

V_{func} = Voltaje de funcionamiento (V)

P_{motor} = Potencia de motor (watts)

$\%descarga$ = porcentaje de descarga de batería

$$I_{bat} = \frac{1000 \text{ watts} * 0,85}{48V * 0,8}$$

$$I_{bat} = 22,13 \text{ A}$$

3.6.10.1. Cálculo de autonomía de la batería

La autonomía de la batería hace referencia a la capacidad de duración para alimentar el sistema a plena carga y esta es dada en kilómetros de recorrido, esta autonomía se calcular con la siguiente ecuación:

$$A_{bat} = \frac{I * V * Vel}{P_{motor}} \quad (15)$$

Donde,

A_{bat} = Autonomía de la batería (km)

I = Amperaje de la batería (A)

V = Voltaje de la batería (v)

Vel = Velocidad de la silla (km/h)

P_{motor} = Potencia de motor (watts)

En pendiente:

$$A_{bat} = \frac{4 * 7,5Ah * 12V * 4 * 5 \text{ km/h}}{1000 \text{ watts}}$$

$$A_{bat} = 7,2 \text{ km}$$

En plano:

$$A_{bat} = \frac{4 * 7,5Ah * 12V * 4 * 12 \text{ km/h}}{1000 \text{ watts}}$$

$$A_{bat} = 17,28 \text{ km}$$

3.6.10.2. Cálculo de tiempo de carga de la batería

Este parámetro se refiere al tiempo en horas que le toma a la batería cargarse totalmente, se calcula de la ecuación (16).

$$T_{carga} = \frac{\text{Capacidad de almacenamiento de la batería (Ah)}}{\text{Capacidad del cargador (A)}} \quad (16)$$

$$T_{carga} = \frac{7,5Ah}{3,5 A}$$

$$T_{carga} = 2,14 \text{ horas}$$

3.6.10.3. Cálculo de duración en horas de la batería

Este cálculo nos permite saber cuánto tiempo durará la batería bajo condiciones de uso normales. Para esto se utiliza la ecuación (17).

$$H = \frac{W_b}{W_c} \quad (17)$$

Donde,

H = Tiempo de duración de batería en horas.

W_b = Potencia de la batería.

W_c = Potencia del circuito.

$$W_b = V_b * I_b$$

$$W_b = 4 * 12V * 7,5 Ah$$

$$W_b = 360 \text{ watts.h}$$

$$W_c = 244,218 \text{ watts}$$

$$H = \frac{W_b}{W_c} = \frac{360 \text{ watts.h}}{244,218 \text{ watts}}$$

$$H = 1,47 \text{ horas} = 1 \text{ hora con } 28 \text{ minutos}$$

La batería seleccionada es la siguiente:



Ilustración 18-3: Batería seleccionada

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023

Tabla 18-3: Especificaciones de la batería seleccionada

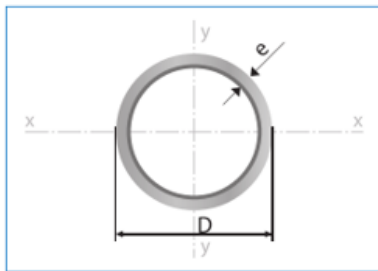
Parámetro	Especificación
Voltaje nominal	12 V
Voltaje de carga	15 V
Corriente máxima de descarga	5,6 A
Amperaje de la batería	7,5 A
Medidas de la batería	151x65x94x100 mm
Peso de batería	2,2 kg

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023

3.7. Diseño mecánico de la estructura

3.7.1. Selección de materiales

Bajo investigación previa se ha podido evidenciar que la estructura de estos proyectos puede ser realizada con tubería. Algunos proyectos de menor exigencia en cuanto a esfuerzos han sido realizados incluso con tubería PVC, sin contar claro con un sistema de propulsión o con uno de gran capacidad. Destacando la perfilería tubular y su facilidad de manejo, una mejor distribución de los esfuerzos, así como de adaptación de este tipo de configuración se ha de escoger el mismo para el diseño de gran parte de nuestra estructura, claro que aclarando la selección de un acero que permita soportar los esfuerzos a los que se va a someter el sistema. La tubería seleccionada para ciertos elementos es aquella que se encuentra estandarizada, por lo que facilita tanto su obtención como una reducción en costos de adquisición. Con dicha tubería se realizará parte del sistema delantero, como son la horquilla, el eje central donde se colocará la dirección, los brazos del prototipo y los soportes. Cabe mencionar que ciertos criterios en cuanto a la selección de la perfilería usada en nuestro proyecto se vieron influenciados por el peso que requirió el sistema para generar la tracción necesaria al momento de desplazarse. Ahora la tubería seleccionada fue elegida por sus ventajas tanto de adquisición, así como el costo de esta. En la ilustración 19-3 se puede observar los datos comerciales de la tubería seleccionada, la cual corresponde a la sección de tubería estructural.



Largo Normal:
6 metros
Recubrimiento:
Negro o Galvanizado
Norma de Calidad:
JIS G 3132, ASTM A 36 y ASTM
A572 Gr 50
Norma de Fabricación:
ASTM A 500/ NTE INEN 2415
Espesores:
Desde 1,40 a 6,00 mm
Observaciones:
Otras dimensiones y largos,
previa consulta

Designaciones		Área	Peso	Propiedades Estáticas			
Diámetro Exterior	Espesor			Flexión			
D	e	A	P	I	W	i	
pulg.	mm	mm	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm ³	cm
7/8	22,20	1,40	0,92	0,72	0,50	0,45	0,74
		1,50	0,98	0,77	0,53	0,47	0,73
		1,80	1,16	0,91	0,61	0,55	0,72
		2,00	1,27	1,00	0,66	0,59	0,72
1	25,40	1,40	1,06	0,83	0,76	0,60	0,85
		1,50	1,13	0,88	0,81	0,64	0,85
		1,80	1,33	1,05	0,93	0,74	0,84
		2,00	1,47	1,15	1,01	0,80	0,83
1 1/4	31,80	1,40	1,33	1,05	1,54	0,97	1,07
		1,50	1,43	1,12	1,63	1,03	1,07
		1,80	1,69	1,33	1,91	1,20	1,06
		2,00	1,87	1,47	2,08	1,31	1,05
1 1/2	38,10	1,40	1,61	1,27	2,72	1,43	1,30
		1,50	1,72	1,35	2,89	1,52	1,30
		1,80	2,05	1,61	3,39	1,78	1,28
		2,00	2,27	1,78	3,71	1,95	1,28
2 3/8	60,30	1,50	2,77	2,18	12,00	3,98	2,08
		1,80	3,31	2,60	14,18	4,70	2,07
		2,00	3,66	2,88	15,60	5,17	2,06
		3,00	5,40	4,24	22,25	7,38	2,03
		4,00	7,08	5,56	28,21	9,35	2,00
2 1/2	63,50	1,50	2,92	2,29	14,05	4,42	2,19
		1,80	3,49	2,74	16,62	5,23	2,18
		2,00	3,86	3,03	18,29	5,76	2,18
		3,00	5,70	4,48	26,15	8,24	2,14
		4,00	7,48	5,87	33,24	10,47	2,11

Ilustración 19-3: Selección de las tuberías

Fuente: (IPAC, 2023, pp.8-9)

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023

Como se puede observar se seleccionó dos especies de tuberías una que conformaría el eje principal del sistema, correspondiente a 2,5 pulgadas y la de 1,25 pulgadas que conforma los brazos, así como los soportes.

3.7.2. Cuerno o mando.

En instancias previas se mencionó que ciertos elementos fueron adquiridos mas no diseñados por su facilidad de obtención, así como de ahorro de tiempos en construcción, este es el caso del mando del prototipo, el cual es el que se usa en las bicicletas.



Ilustración 20-3: Conjunto del cuerno o mando del sistema.

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023

Además, el mismo ya incorpora la pieza que permite unir tanto el cuerno con el eje principal, tal como se muestra en la ilustración 20-3. Los manillares de igual manera son de fácil obtención para este tipo de elementos.

3.7.3. *Diseño de la horquilla.*

En primer lugar, lo que se debe mencionar es que existen diferentes maneras de poder dimensionar estos elementos, como por ejemplo la evaluación de esfuerzos que permitan evidenciar una correcta distribución y soporte del material con estos. Ya con los elementos como motor y sistemas de control adquiridos los diseños han de realizarse, de tal manera que correspondan a estos elementos. Por tanto, el dimensionamiento de la horquilla viene ligado a las proporciones de la rueda de nuestro equipo de propulsión. El tamaño de nuestra rueda oscila en un valor de 4 pulgadas, por tanto, para la horquilla usamos dos tuberías de 1,25 pulgadas separadas con una placa que se ajusta a la separación de la rueda y los componentes necesarios para acoplar con el eje del motor. A esta se soldará el eje principal que cumple la función de la dirección del sistema, los componentes que le permiten cumplir dicho cometido son los usados en las bicicletas.

Nuestro sistema está diseñado de tal manera que, ya acoplados los brazos a la silla, al empujar el mando hacia adelante y con ayuda de los frenos de la silla de ruedas colocados, se proporcione el efecto de elevación deseado en las ruedas delanteras. Además de lo antes mencionado se debe considerar el peso de las baterías y un estimado del de los demás elementos que conforman el sistema de control, por lo que el diagrama de cuerpo libre nos queda como se muestra en la ilustración 21-3. La batería con la que va a contar el prototipo es de un peso de 3 kilos aproximadamente y los demás implementos como sistema de frenado, controladores, manillares y demás elementos no suman ni medio kilogramo.

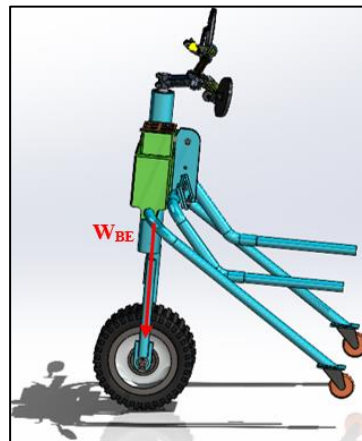


Ilustración 21-3: DCL carga en el eje.

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023

Donde:

W_{BE} = Peso de la batería más el de los demás elementos que conforman el sistema.

El peso generado por la batería y elementos se considera tendrá influencia directa en el eje del motor, tal como se muestra en la ilustración 22-3, destacando que se tendrá un esfuerzo de aplastamiento en las juntas y un cortante en el eje del motor.

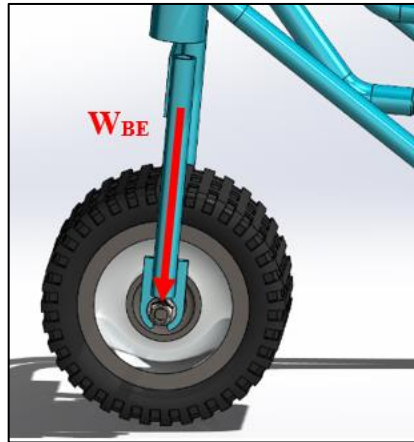


Ilustración 22-3: Descomposición de fuerza W_{BE}

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023

Ya que el acople se va a realizar para cualquier tipo de silla de ruedas y por ende cualquier tipo de usuario, no podemos definir valores constantes en cuanto al diseño de las sillas o peso de estas. Por tal motivo se define los valores más críticos para este caso un valor de W_{BE} igual a 80Kg, bajo la premisa de que se agrega cierto valor producto del usuario, sabiendo que en realidad el mismo no influye de manera directa en el sistema, siendo esto una condición crítica, la que se asume. Como sabemos la carga se distribuye en conjunto con los demás elementos hacia eje del motor, por tanto, para evaluar la fiabilidad del elemento analizamos un esfuerzo cortante y de aplastamiento en este elemento.

Datos:

$$W_{BE} = 80Kg * 9,81m/s^2 = 784,8N$$

La fuerza producto de las cargas del sistema que conforma la horquilla y demás elementos como la batería, tendrán una influencia directa sobre el eje de la rueda generando de esta manera un esfuerzo cortante sobre el eje, y un esfuerzo de aplastamiento en las correspondientes uniones. Determinando el esfuerzo al que estará sometido el eje del motor, en primer lugar, deberemos tener en cuenta que la fuerza se divide para los dos extremos acoplados a la rueda y además de que se trata de un esfuerzo cortante doble se tendrá.

$$\tau = \frac{F}{2 * A} \tag{18}$$

$$\tau = \frac{W_{BE}/2}{2 \frac{\pi}{4} * d^2}$$

Donde:

τ = Es el esfuerzo cortante en este caso, por la aplicación de la fuerza.

A= El área de la sección de corte

d=Diámetro del eje

$$\tau = \frac{784,8N/2}{2 \frac{\pi}{4} (0,016m^2)}$$
$$\tau = 0,976MPa$$

Como se puede evidenciar aun para tal análisis, el esfuerzo que se tiene en el eje es muy pequeño, para el que nos permite soportar el material usado, aun sometiendo al material a una hipotética carga de la totalidad del peso de persona y silla se tendrá un esfuerzo de 1,305MPa por lo que se evidencia una fiabilidad del elemento.

Evaluando el esfuerzo de aplastamiento de las placas de unión que se tendrá en cada uno de los extremos de la rueda, se tendrá.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Teniendo en cuenta que para este caso el área de análisis es el producto de multiplicar el ancho de la placa por el diámetro del eje se tendrá:

$$\sigma = \frac{W_{BE}/2}{A}$$
$$\sigma = \frac{784,8N/2}{0,016m * 0,008m}$$
$$\sigma = 3,065MPa$$

Analizando el factor de seguridad que se tendrá para el acero ASTM A36:

$$\eta = \frac{0.577S_y}{\sigma}$$
$$\eta = \frac{0.577 * 310MPa}{3,065MPa}$$
$$\eta = 58,359$$

De igual manera se comprueba que los elementos no presentan riesgo de falla producto de las cargas.

3.7.4. Diseño de los brazos

Se sabe que, para la determinación de fuerzas, así como de momentos, los valores relacionados a las dimensiones de la silla son muy importantes, los mismos definen el valor de los momentos y de igual manera los valores de la fuerza. Las estimaciones que se realizan en estos apartados son valores promedios o similares, que asemejan en cierta medida las diferentes variabilidades que se encontrarán en los modelos de sillas de ruedas. La fuerza producto del peso de la silla se traslada a los brazos a través de la conexión con el acople. Dado que para las condiciones de uso los brazos se deben encontrar en posición firme y rígida se asume a los mismos con tales condiciones, siendo esto un problema de análisis en el punto más crítico que vendría siendo el empotramiento. En la

ilustración 23-3 se observa la definición del sistema de coordenadas en el punto de análisis, además de la dirección de la fuerza.

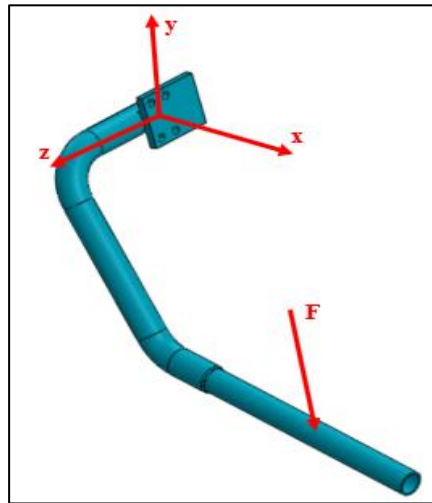


Ilustración 23-3: Carga provocada sobre los brazos.

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023.

Dado que los mismos tienen que generar una tracción en la silla con la persona generará que los brazos estén sometidos a través de los acoples a una fuerza con cierta inclinación, para tal condición y evaluando como condición crítica la totalidad del peso asumido de 80Kg tenemos.

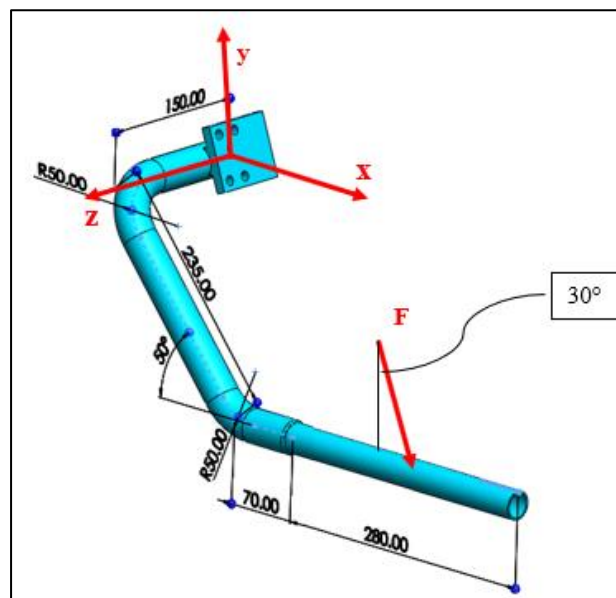


Ilustración 24-3: Dimensiones de uno de los brazos del sistema

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023.

Para la configuración propuesta como se observa en la ilustración 24-3 se tienen las medidas que permiten determinar los momentos que va a sufrir el brazo en la conexión de este con el eje principal. Se debe aclarar una variación del valor de la fuerza sobre el brazo, ya que esta depende directamente de la unión con la silla de ruedas, el peso de la persona, configuración de la silla, etc. Por tanto, este valor va a ser un valor variable según estos factores, para este caso la fuerza se direcciona dicha fuerza con un ángulo de 30° se puede observar que valores mayores a este no corresponden a la configuración de las sillas, además esta se posiciona en la mitad dada la configuración de los dos anclajes.

Al trasladar la fuerza al extremo donde se tiene el anclaje con el chasis, se generan los momentos correspondientes, como se observa en la ilustración 25-3.

$$T = \vec{r} \times \vec{F}$$

La fuerza para este caso se divide en dos, porque se distribuye para los dos brazos y las componentes de esta serán:

$$F = 196,2i - 339,828j$$

$$r = (0,21i + 0,235\cos 50^\circ)i - 0,235\sin 50^\circ j + 0,15k$$

$$r = (0,4291i - 0,18j + 0,15k)m$$

$$M = (0,429i - 0,18j + 0,15k)m \times (196,2i - 339,828j)N$$

$$M = (50,974i + 29,43j - 110,47k)Nm$$

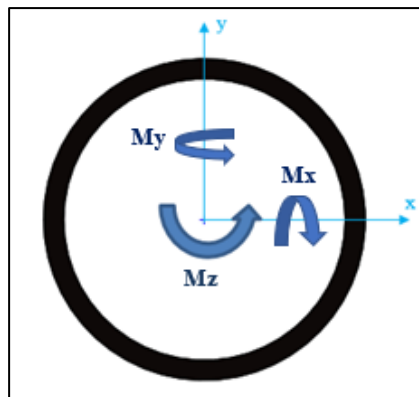


Ilustración 25-3: Momentos de análisis en el empotramiento.

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023.

Como se puede observar se tiene flexión y torsión en el elemento, se debe evaluar los valores a flexión y determinar con ellos el momento flector resultante.

$$M = \sqrt{M_x^2 + M_y^2}$$

$$M = \sqrt{50,974^2 + 29,43^2}Nm$$

$$M = 58,86Nm$$

De esta manera evaluando el esfuerzo a flexión tenemos:

$$\sigma = \frac{32 * M * D}{\pi(D^4 - d^4)} \quad (20)$$

Donde:

M= momento flector resultante.

D= Es el diámetro externo.

d= Es el diámetro interno.

$$\sigma = \frac{32 * (58,86 * 0,028)Nm^2}{\pi(0,028^4 - 0,024^4)m^4}$$

$$\sigma = 59,344MPa$$

El momento generado en z es un momento torsor, para el cual se tiene:

$$\tau = \frac{16 * T * D}{\pi(D^4 - d^4)} \quad (19)$$

Donde:

T= corresponde al torque

$$T = 110,47Nm$$

$$\tau = \frac{16 * 110,47 * 0,028}{\pi(0,028^4 - 0,024^4)m^4}$$

$$\tau = 55,689MPa$$

Con este valor realizamos el siguiente cálculo, que se debe a la teoría de Von Misses para determinar el factor de seguridad, para el tipo de material de tubería más comercial que se tiene en el mercado que es el acero ASTM A36 el cual tiene un límite de fluencia de 250MPa.

$$\sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2} = \frac{Sy}{\eta} \quad (21)$$

Donde:

η =Corresponde al factor de seguridad

Sy = Es el límite de fluencia del material

$$\eta = \frac{250MPa}{\sqrt{59,344^2 + 3 * 55,689^2}}$$

$$\eta = 2,208$$

3.7.5. *Diseño de pieza de anclaje y placas soporte.*

Esta pieza se encuentra alojada entre las placas soporte y esta soldada al eje principal del sistema como se puede identificar en la ilustración 26-3, tiene como función permitir la conexión del chasis con el sistema de los brazos. Su diseño se basa en una placa con agujeros que permitan la conexión de esta con las placas soporte esto ayuda a que la misma pueda girar en correspondencia con las placas soporte. Uno de estos agujeros, el más alto viéndolo desde la posición vertical, sirve como eje de giro y el más pequeño en la parte baja sirve para poder inmovilizar a estas placas mediante un eje que atraviesa el conjunto de tres piezas.

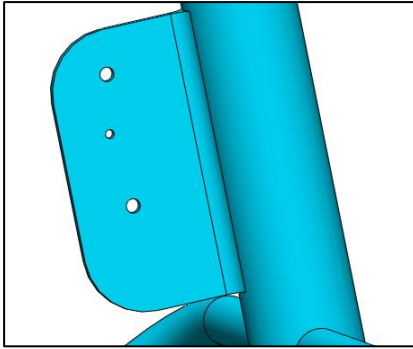


Ilustración 26-3: Configuración de la pieza de anclaje

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023.

Como se puede evidenciar el escenario más crítico será cuando el punto de giro del elemento se encuentre soportando el peso total del sistema, al momento de generar la tracción para levantar las ruedas. Mas sin embargo esta fuerza se distribuye en el conjunto de placas la central, que se encuentra soldada al eje principal y las placas soporte que sirven de anclaje entre el chasis y los brazos del sistema como se puede observar en la ilustración 27-3.



Ilustración 27-3: Análisis de fuerzas en el anclaje con el brazo.

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023.

En vista de que las placas están sometidas a esfuerzo de aplastamiento y el perno que sirve de eje de giro sufre esfuerzo cortante, como se ha mencionado la aplicación de fuerzas estará ligado al modelo de silla que se acople, y el peso de la persona. Evaluando para el mayor peso que se puede tener para los modelos comunes de sillas en el mercado y asumiendo como condición crítica que el mismo está aplicado de manera horizontal, este esfuerzo se calcula de la siguiente manera:

$$\sigma = \frac{FT/2}{A} \quad (22)$$

Donde:

FT= Peso máximo de silla con persona y de los demás elementos.

A= El área de aplastamiento de las placas.

$$\sigma = \frac{1049,67N/2}{0,005m * 0,006m}$$
$$\sigma = 34,989MPa$$

Evaluando para este valor, el factor de seguridad para el acero ASTM A36 se tiene.

$$\eta = \frac{0,577Sy}{\sigma}$$
$$\eta = \frac{0,577 * 250MPa}{34,989MPa}$$
$$\eta = 4,123$$

Dada la configuración de las placas y cada una con el mismo espesor, podemos determinar que todas las placas corresponderán al mismo valor, pero en sentido contrario, esto para mantener el principio de equilibrio estático. Mas sin embargo para las placas que sirven de unión de los brazos con el eje principal al tener un espesor diferente, pero con cuatro pernos por los cuales distribuir la carga se tendrá:

$$\sigma = \frac{1049,67N/4}{0,008m * 0,006m}$$
$$\sigma = 5,467MPa$$

Y evaluando para un acero ASTM A36 tenemos el siguiente factor de seguridad.

$$\eta = \frac{0,577*Sy}{\sigma} \quad (23)$$

$$\eta = \frac{0,577 * 250MPa}{5,467MPa}$$
$$\eta = 26,386$$

Ahora considerando el esfuerzo al que van a estar sometidos los pernos, este será de cortante doble dada la configuración de las placas, esto se evidencia tanto en la placa central, como en las que sirven de soporte a los brazos:

$$\tau = \frac{FT/2}{A} \quad (24)$$

$$\tau = \frac{1049,67N/2}{\frac{\pi}{4}(0,006^2)}$$
$$\tau = 18,562MPa$$

De igual manera, determinando el factor de seguridad para tal esfuerzo y con el correspondiente perno de grado 8.8 se tiene:

$$\eta = \frac{0,577 * Sy}{\tau}$$

$$\eta = \frac{0,577 * 640MPa}{18,562MPa}$$

$$\eta = 19,894$$

Análisis similar se realiza con los pernos de unión de los brazos con la pieza central, tomando en cuenta que para este caso son 8 pernos 4 de cada placa, por lo tanto, se calcula con la siguiente ecuación (25):

$$\tau = \frac{FT/4}{A} \tag{25}$$

$$\tau = \frac{1049,67N/4}{\frac{\pi}{4}(0,006^2)}$$

$$\tau = 9,281MPa$$

Y evaluando el factor de seguridad para el perno grado 8,8 se tiene:

$$\eta = \frac{0,577 * Sy}{\tau}$$

$$\eta = \frac{0,577 * 640MPa}{9,281MPa}$$

$$\eta = 39,789$$

3.8. Análisis de esfuerzos y deformación total en ANSYS

3.8.1. Calidad de las mallas obtenidas

Para una correcta obtención de resultados es necesario que los elementos simulados tengan una buena calidad de malla, para lo cual se ha tomado en cuenta las recomendaciones del mismo software ANSYS.

En general no se recomiendan valores de baja calidad ortogonal o alta asimetría, intente mantener la calidad ortogonal mínima >0,1 o la asimetría <0,95. Sin embargo estos valores pueden ser diferentes según la física y la ubicación de la celda (Syed, 2022).

Skewness mesh metrics spectrum					
Excellent	Very good	Good	Acceptable	Bad	Unacceptable
0-0.25	0.25-0.50	0.50-0.80	0.80-0.94	0.95-0.97	0.98-1.00
Orthogonal Quality mesh metrics spectrum					
Unacceptable	Bad	Acceptable	Good	Very good	Excellent
0-0.001	0.001-0.14	0.15-0.20	0.20-0.69	0.70-0.95	0.95-1.00

Ilustración 28-3: Recomendaciones de métricas de malla ANSYS

Fuente: (ANSYS, Inc.)

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023.

Tabla 19-3: Métricas de malla obtenidos para todo el equipo

Elemento	Métricas de las mallas																																			
	Skewness	Orthogonal Quality																																		
Todo el equipo	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Details of "Mesh"</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><input type="checkbox"/> Target Quality</td> <td>Default (0.050000)</td> </tr> <tr> <td>Smoothing</td> <td>Medium</td> </tr> <tr> <td>Mesh Metric</td> <td>Skewness</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Min</td> <td>1,9559e-005</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Max</td> <td>1,</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Average</td> <td>0,40704</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Standard Deviation</td> <td>0,21124</td> </tr> </tbody> </table>	Details of "Mesh"		<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)	Smoothing	Medium	Mesh Metric	Skewness	<input type="checkbox"/> Min	1,9559e-005	<input type="checkbox"/> Max	1,	<input type="checkbox"/> Average	0,40704	<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,21124	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Details of "Mesh"</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><input type="checkbox"/> Target Quality</td> <td>Default (0.050000)</td> </tr> <tr> <td>Smoothing</td> <td>Medium</td> </tr> <tr> <td>Mesh Metric</td> <td>Orthogonal Quality</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Min</td> <td>2,0175e-011</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Max</td> <td>0,98703</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Average</td> <td>0,59142</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Standard Deviation</td> <td>0,20944</td> </tr> </tbody> </table>	Details of "Mesh"		<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)	Smoothing	Medium	Mesh Metric	Orthogonal Quality	<input type="checkbox"/> Min	2,0175e-011	<input type="checkbox"/> Max	0,98703	<input type="checkbox"/> Average	0,59142	<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,20944		
Details of "Mesh"																																				
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)																																			
Smoothing	Medium																																			
Mesh Metric	Skewness																																			
<input type="checkbox"/> Min	1,9559e-005																																			
<input type="checkbox"/> Max	1,																																			
<input type="checkbox"/> Average	0,40704																																			
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,21124																																			
Details of "Mesh"																																				
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)																																			
Smoothing	Medium																																			
Mesh Metric	Orthogonal Quality																																			
<input type="checkbox"/> Min	2,0175e-011																																			
<input type="checkbox"/> Max	0,98703																																			
<input type="checkbox"/> Average	0,59142																																			
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,20944																																			
Horquilla	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Details of "Mesh"</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Error Limits</td> <td>Standard Mechanical</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Target Quality</td> <td>Default (0.050000)</td> </tr> <tr> <td>Smoothing</td> <td>Medium</td> </tr> <tr> <td>Mesh Metric</td> <td>Skewness</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Min</td> <td>3,6309e-003</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Max</td> <td>0,99261</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Average</td> <td>0,38621</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Standard Deviation</td> <td>0,18229</td> </tr> </tbody> </table>	Details of "Mesh"		Error Limits	Standard Mechanical	<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)	Smoothing	Medium	Mesh Metric	Skewness	<input type="checkbox"/> Min	3,6309e-003	<input type="checkbox"/> Max	0,99261	<input type="checkbox"/> Average	0,38621	<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,18229	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Details of "Mesh"</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><input type="checkbox"/> Target Quality</td> <td>Default (0.050000)</td> </tr> <tr> <td>Smoothing</td> <td>Medium</td> </tr> <tr> <td>Mesh Metric</td> <td>Orthogonal Quality</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Min</td> <td>7,3902e-003</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Max</td> <td>0,98705</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Average</td> <td>0,61262</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Standard Deviation</td> <td>0,18079</td> </tr> </tbody> </table>	Details of "Mesh"		<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)	Smoothing	Medium	Mesh Metric	Orthogonal Quality	<input type="checkbox"/> Min	7,3902e-003	<input type="checkbox"/> Max	0,98705	<input type="checkbox"/> Average	0,61262	<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,18079
Details of "Mesh"																																				
Error Limits	Standard Mechanical																																			
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)																																			
Smoothing	Medium																																			
Mesh Metric	Skewness																																			
<input type="checkbox"/> Min	3,6309e-003																																			
<input type="checkbox"/> Max	0,99261																																			
<input type="checkbox"/> Average	0,38621																																			
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,18229																																			
Details of "Mesh"																																				
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)																																			
Smoothing	Medium																																			
Mesh Metric	Orthogonal Quality																																			
<input type="checkbox"/> Min	7,3902e-003																																			
<input type="checkbox"/> Max	0,98705																																			
<input type="checkbox"/> Average	0,61262																																			
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,18079																																			
Brazo	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Details of "Mesh"</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><input type="checkbox"/> Target Quality</td> <td>Default (0.050000)</td> </tr> <tr> <td>Smoothing</td> <td>Medium</td> </tr> <tr> <td>Mesh Metric</td> <td>Skewness</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Min</td> <td>1,2689e-003</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Max</td> <td>0,9158</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Average</td> <td>0,41941</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Standard Deviation</td> <td>0,12632</td> </tr> </tbody> </table>	Details of "Mesh"		<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)	Smoothing	Medium	Mesh Metric	Skewness	<input type="checkbox"/> Min	1,2689e-003	<input type="checkbox"/> Max	0,9158	<input type="checkbox"/> Average	0,41941	<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,12632	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Details of "Mesh"</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Error Limits</td> <td>Standard Mechanical</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Target Quality</td> <td>Default (0.050000)</td> </tr> <tr> <td>Smoothing</td> <td>Medium</td> </tr> <tr> <td>Mesh Metric</td> <td>Orthogonal Quality</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Min</td> <td>8,4202e-002</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Max</td> <td>0,97396</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Average</td> <td>0,58014</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Standard Deviation</td> <td>0,12535</td> </tr> </tbody> </table>	Details of "Mesh"		Error Limits	Standard Mechanical	<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)	Smoothing	Medium	Mesh Metric	Orthogonal Quality	<input type="checkbox"/> Min	8,4202e-002	<input type="checkbox"/> Max	0,97396	<input type="checkbox"/> Average	0,58014	<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,12535
Details of "Mesh"																																				
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)																																			
Smoothing	Medium																																			
Mesh Metric	Skewness																																			
<input type="checkbox"/> Min	1,2689e-003																																			
<input type="checkbox"/> Max	0,9158																																			
<input type="checkbox"/> Average	0,41941																																			
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,12632																																			
Details of "Mesh"																																				
Error Limits	Standard Mechanical																																			
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)																																			
Smoothing	Medium																																			
Mesh Metric	Orthogonal Quality																																			
<input type="checkbox"/> Min	8,4202e-002																																			
<input type="checkbox"/> Max	0,97396																																			
<input type="checkbox"/> Average	0,58014																																			
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,12535																																			
Placa de anclaje	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Details of "Mesh"</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Error Limits</td> <td>Standard Mechanical</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Target Quality</td> <td>Default (0.050000)</td> </tr> <tr> <td>Smoothing</td> <td>Medium</td> </tr> <tr> <td>Mesh Metric</td> <td>Skewness</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Min</td> <td>9,601e-003</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Max</td> <td>0,91188</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Average</td> <td>0,37299</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Standard Deviation</td> <td>0,14053</td> </tr> </tbody> </table>	Details of "Mesh"		Error Limits	Standard Mechanical	<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)	Smoothing	Medium	Mesh Metric	Skewness	<input type="checkbox"/> Min	9,601e-003	<input type="checkbox"/> Max	0,91188	<input type="checkbox"/> Average	0,37299	<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,14053	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Details of "Mesh"</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><input type="checkbox"/> Target Quality</td> <td>Default (0.050000)</td> </tr> <tr> <td>Smoothing</td> <td>Medium</td> </tr> <tr> <td>Mesh Metric</td> <td>Orthogonal Quality</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Min</td> <td>8,8122e-002</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Max</td> <td>0,9752</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Average</td> <td>0,62618</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Standard Deviation</td> <td>0,13897</td> </tr> </tbody> </table>	Details of "Mesh"		<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)	Smoothing	Medium	Mesh Metric	Orthogonal Quality	<input type="checkbox"/> Min	8,8122e-002	<input type="checkbox"/> Max	0,9752	<input type="checkbox"/> Average	0,62618	<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,13897
Details of "Mesh"																																				
Error Limits	Standard Mechanical																																			
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)																																			
Smoothing	Medium																																			
Mesh Metric	Skewness																																			
<input type="checkbox"/> Min	9,601e-003																																			
<input type="checkbox"/> Max	0,91188																																			
<input type="checkbox"/> Average	0,37299																																			
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,14053																																			
Details of "Mesh"																																				
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)																																			
Smoothing	Medium																																			
Mesh Metric	Orthogonal Quality																																			
<input type="checkbox"/> Min	8,8122e-002																																			
<input type="checkbox"/> Max	0,9752																																			
<input type="checkbox"/> Average	0,62618																																			
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,13897																																			
Eje de motor	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Details of "Mesh"</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><input type="checkbox"/> Target Quality</td> <td>Default (0.050000)</td> </tr> <tr> <td>Smoothing</td> <td>Medium</td> </tr> <tr> <td>Mesh Metric</td> <td>Skewness</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Min</td> <td>6,3375e-006</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Max</td> <td>0,99989</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Average</td> <td>0,34269</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Standard Deviation</td> <td>0,21965</td> </tr> </tbody> </table>	Details of "Mesh"		<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)	Smoothing	Medium	Mesh Metric	Skewness	<input type="checkbox"/> Min	6,3375e-006	<input type="checkbox"/> Max	0,99989	<input type="checkbox"/> Average	0,34269	<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,21965	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Details of "Mesh"</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Error Limits</td> <td>Standard Mechanical</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Target Quality</td> <td>Default (0.050000)</td> </tr> <tr> <td>Smoothing</td> <td>Medium</td> </tr> <tr> <td>Mesh Metric</td> <td>Orthogonal Quality</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Min</td> <td>1,1165e-004</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Max</td> <td>0,98505</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Average</td> <td>0,65439</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Standard Deviation</td> <td>0,21737</td> </tr> </tbody> </table>	Details of "Mesh"		Error Limits	Standard Mechanical	<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)	Smoothing	Medium	Mesh Metric	Orthogonal Quality	<input type="checkbox"/> Min	1,1165e-004	<input type="checkbox"/> Max	0,98505	<input type="checkbox"/> Average	0,65439	<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,21737
Details of "Mesh"																																				
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)																																			
Smoothing	Medium																																			
Mesh Metric	Skewness																																			
<input type="checkbox"/> Min	6,3375e-006																																			
<input type="checkbox"/> Max	0,99989																																			
<input type="checkbox"/> Average	0,34269																																			
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,21965																																			
Details of "Mesh"																																				
Error Limits	Standard Mechanical																																			
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)																																			
Smoothing	Medium																																			
Mesh Metric	Orthogonal Quality																																			
<input type="checkbox"/> Min	1,1165e-004																																			
<input type="checkbox"/> Max	0,98505																																			
<input type="checkbox"/> Average	0,65439																																			
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,21737																																			

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023.

La calidad de las mallas producidas fue de: aceptable, bueno, muy bueno y excelente, permitiendo así poder realizar un análisis efectivo de los elementos.

Con la utilización del software ANSYS Workbench se realiza el análisis estático completo del equipo y de 4 elementos del prototipo impulsor que según se determinó son las partes más críticas del aparato.

3.8.2. Análisis de la carga en todo el equipo

La máxima fuerza que soporta el equipo justo en el instante antes de arrancar es de $F_1=784,8$ N, esta fuerza es que hay que vencer cuando se arranca y soporta la estructura en ese instante y la $F_2= 196,2$ N en cambio se refiere al peso propio de la estructura más el peso del resto de componentes. Todas estas fuerzas se calcularon sección anterior.

- Análisis en el instante antes de arrancar (con el soporte elevado).
- **Tensión equivalente: 15,551 MPa**
- **Factor de seguridad, $n=15$**

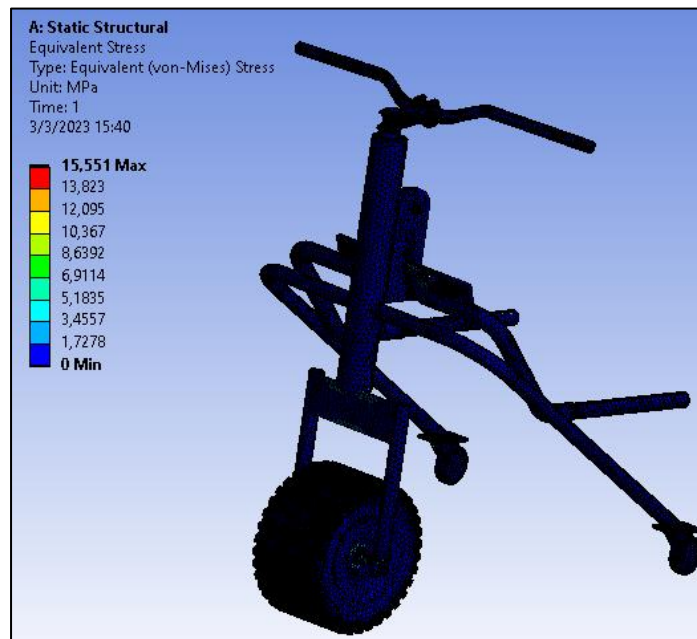


Ilustración 29-3: Esfuerzo equivalente en todo el equipo al instante del arranque.

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023

- **Deformación total: 0,04948 mm**

Para determinar si las deformaciones son aceptables, se ha tomado como base el análisis de deformación permisible según, Reshétov, (1971, pp.54).

Deformación permisible, siendo $L=840$ mm

$$\begin{aligned} [y] &= (0,0002 - 0,0003)L & (26) \\ [y] &= (0,0002 - 0,0003)840 \text{ mm} \\ [y] &= (0,168 - 0,252) \text{ mm} \\ 0,04948 \text{ mm} &< 0,168 \text{ mm} \end{aligned}$$

La deformación total calculada está por debajo del rango de la deformación mínima permisible, esto nos permite validar el correcto uso del material de construcción.

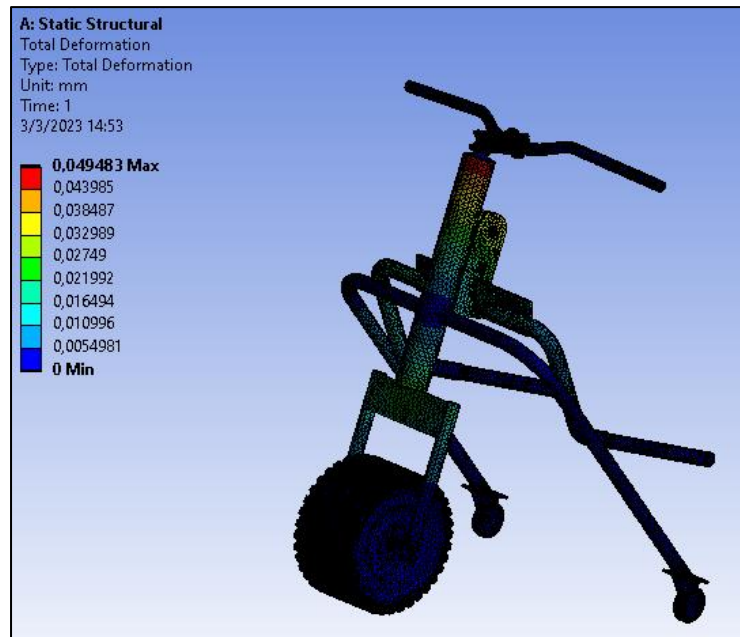


Ilustración 30-3: Deformación total en todo el equipo al instante del arranque.

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023.

- Análisis es posición estática (con el soporte extendido), solo se toma en cuenta el peso propio del equipo más el peso de los elementos que están en la estructura.
- **Tensión equivalente: 9,7102 MPa**
- **Factor de seguridad, n=15**



Ilustración 31-3: Esfuerzo equivalente en todo el equipo en posición estática.

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023

- **Deformación total: 0,073048 mm**

Deformación permisible, siendo $L=840$ mm

$$[y] = (0,0002 - 0,0003)L$$

$$[y] = (0,0002 - 0,0003)840 \text{ mm}$$

$$[y] = (0,168 - 0,252) \text{ mm}$$

$$0,073048 \text{ mm} < 0,168 \text{ mm}$$

La deformación total calculada es menor a la deformación mínima permisible, la deformación es más que aceptable.

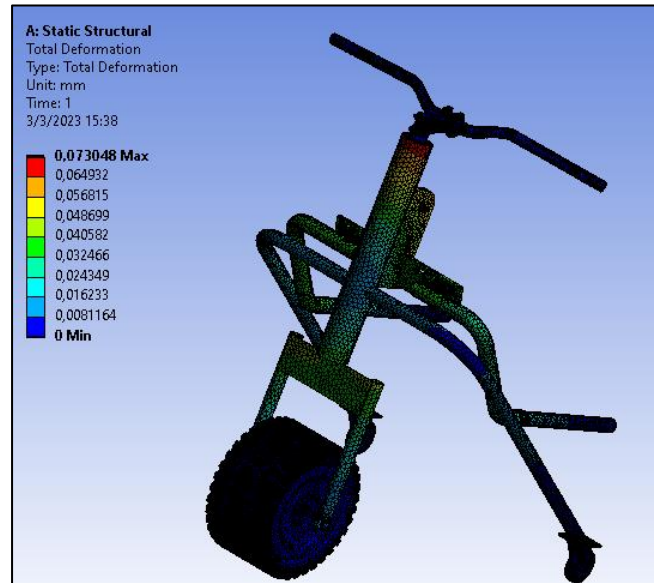


Ilustración 32-3: Deformación total en todo el equipo en posición estática.

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023

3.8.3. *Análisis de la carga en la horquilla*

La fuerza máxima que soporta este elemento ya ha sido calculada en la sección 3.7.2

$F_{max} = 147,15$ N

- **Tensión equivalente: 3,922 MPa**
- **Factor de seguridad, $n=15$**

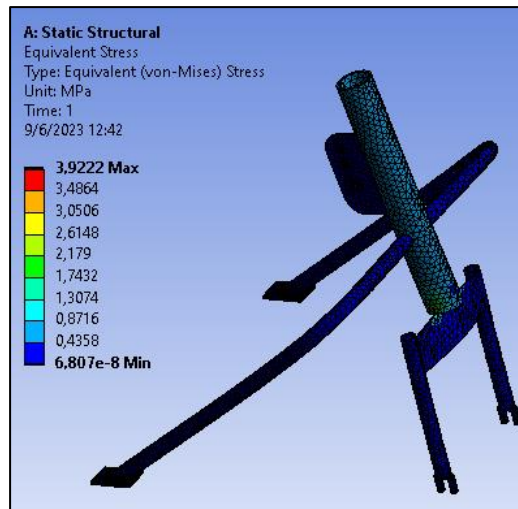


Ilustración 33-3: Esfuerzo equivalente de Von Mises en la horquilla

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023

- **Deformación total: 0,10645 mm**

Deformación permisible, siendo $L = 750 \text{ mm}$

$$[y] = (0,0002 - 0,0003)$$

$$[y] = (0,0002 - 0,0003)750 \text{ mm}$$

$$[y] = (0,15 - 0,225) \text{ mm}$$

$$0,10645 \text{ mm} < 0,15 \text{ mm}$$

La deformación total calculada es menor a la deformación mínima permisible, esto nos permite validar la selección del material de construcción.

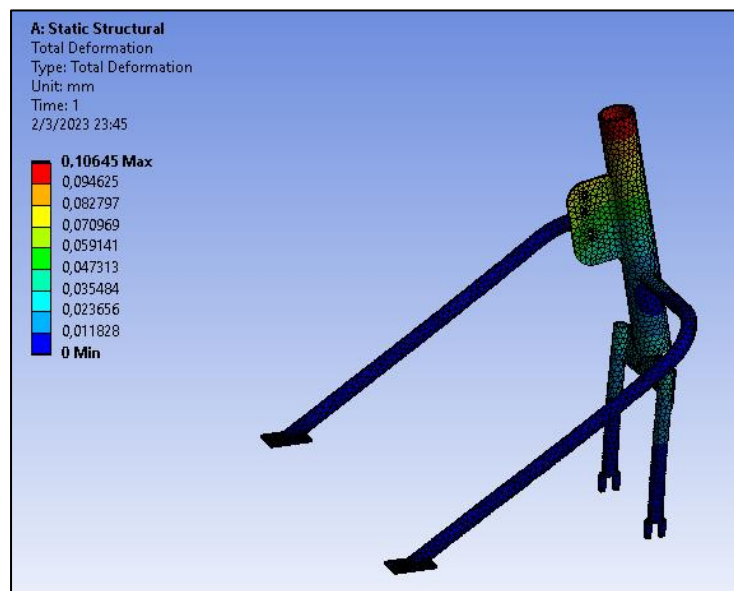


Ilustración 34-3: Deformación total en la horquilla

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023

3.8.4. Análisis de la carga en los brazos

La fuerza máxima que soporta este elemento ya ha sido calculada en la sección 3.7.3

$$F = (402,21i)N$$

- **Tensión equivalente: 88,445 MPa**
- **Factor de seguridad, n=15**

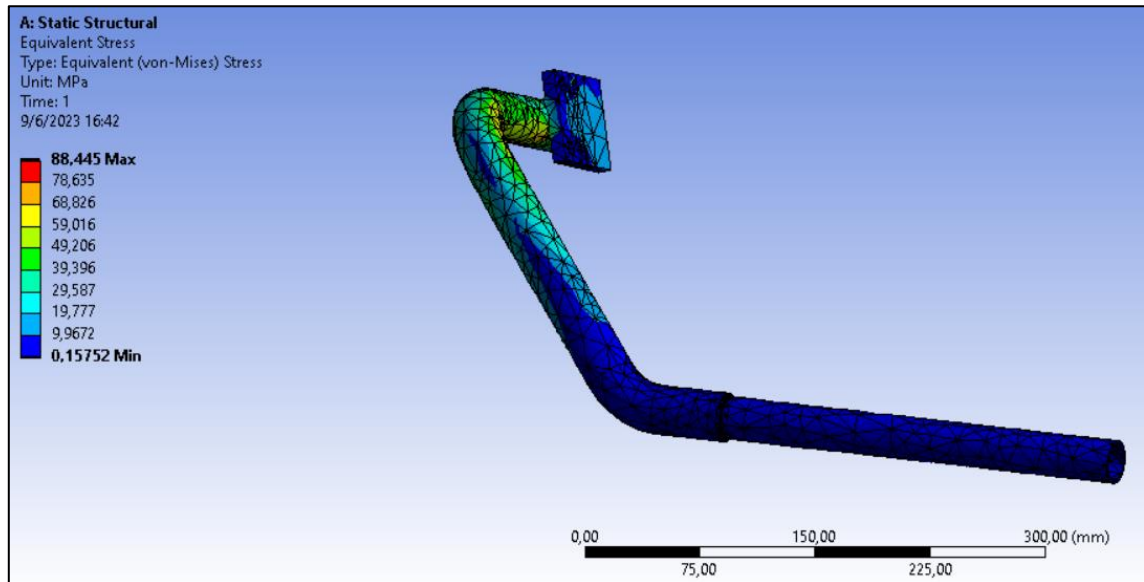


Ilustración 35-3: Esfuerzo equivalente de Von Mises en un brazo

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023

- **Deformación total: 0,0048134 mm**
Deformación permisible, siendo $L=740$ mm

$$\begin{aligned} [y] &= (0,0002 - 0,0003)L \\ [y] &= (0,0002 - 0,0003) 740 \text{ mm} \\ [y] &= (0,148 - 0,222) \text{ mm} \\ 0,0048134 \text{ mm} &< 0,148 \text{ mm} \end{aligned}$$

La deformación total calculada es mucho menor a la deformación mínima permisible, la deformación obtenida es correcta.

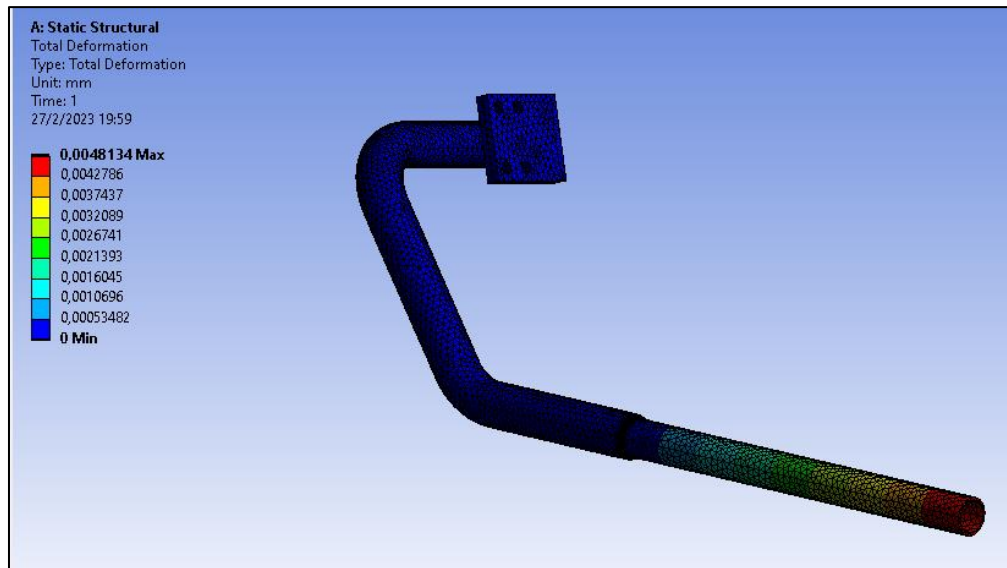


Ilustración 36-3: Deformación total en un brazo

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023

3.8.5. *Análisis de la carga en la pieza de anclaje*

La fuerza máxima que soporta la pieza de anclaje ya ha sido calculada en la sección 3.11.3

$$F = (398,86i + 398,86k)N$$

- **Tensión equivalente: 42,645 MPa**
- **Factor de seguridad, n=15**

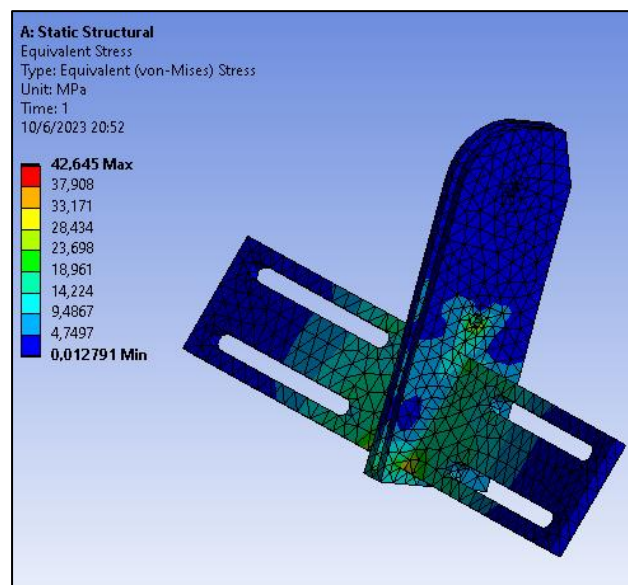


Ilustración 37-3: Esfuerzo equivalente de Von Mises en pieza de anclaje

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023

- **Deformación total: 0,77644 mm**

Deformación permisible

Siendo $L=330\text{mm}$

$$[y] = (0,0002 - 0,0003)L$$

$$[y] = (0,002 - 0,003)330 \text{ mm}$$

$$[y] = (0,66 - 0,99) \text{ mm}$$

$$0,66 \text{ mm} < 0,77644 \text{ mm} < 0,99 \text{ mm}$$

La deformación total calculada en esta pieza se encuentra justo dentro del rango de la deformación permisible, la deformación es válida.

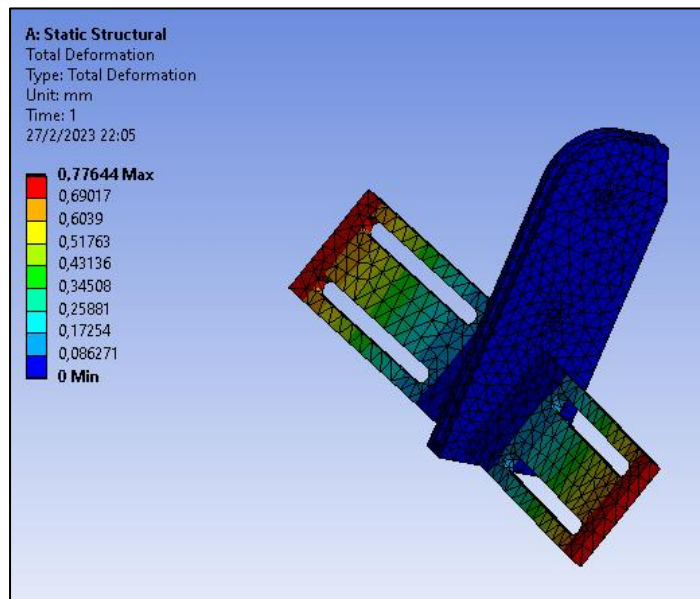


Ilustración 38-3: Deformación total en la pieza de anclaje

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023

3.8.6. *Análisis de la carga en el eje del motor*

La fuerza máxima que existe en el eje del motor ya ha sido calculada en la sección 3.11.1. y es

$F_{\max} = 196 \text{ N}$

- **Tensión equivalente: 17,763 MPa**
- **Factor de seguridad, $n=14,074$**

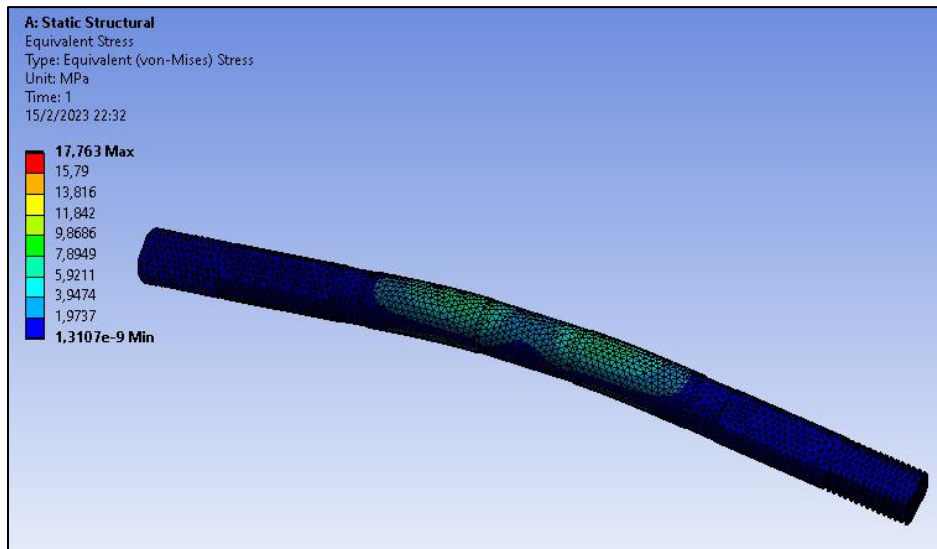


Ilustración 39-3: Esfuerzo equivalente de Von Mises en el eje del motor

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023

- **Deformación total: 0,01426 mm**

Deformación permisible, siendo $L=100$ mm

$$[y] = (0,0002 - 0,0003)L$$

$$[y] = (0,0002 - 0,0003)100 \text{ mm}$$

$$[y] = (0,02 - 0,03) \text{ mm}$$

$$0,014266 \text{ mm} < 0,02 \text{ mm}$$

La deformación total calculada es menor a la deformación mínima permisible, esto indica que el eje prácticamente no se deforma.

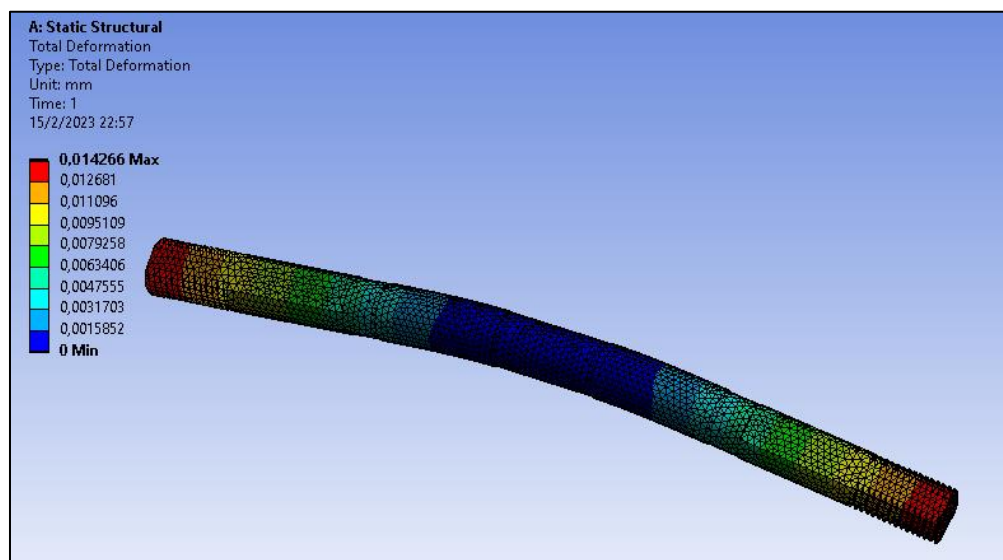


Ilustración 40-3: Deformación total en el eje del motor

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023

3.9. Manufactura y armado del prototipo impulsor

3.9.1. Manufactura de la horquilla y manubrio

Para iniciar la construcción del prototipo se parte de la pieza principal de la estructura la cual es la horquilla, esta tiene la forma muy parecida al de una bicicleta. Se mide el ancho de la rueda en donde se instalará el trinche. La llanta tiene un ancho de 15 cm, se realiza entonces una horquilla de 27,7 cm de ancho.



Ilustración 41-3: Armado de la horquilla

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023

Esta horquilla está conformada por dos tubos de 3,175 cm de diámetro con un espesor de 4 mm, con un largo de 26,6 cm, estos tubos a su vez están unidos por una placa 26,5 cm x 7,3 cm, y un espesor de 0,5 cm. Los elementos que forman esta parte son de Acero ASTM A36. En la parte final del trinche se encuentran dos placas soldadas de 6 cm x 3 cm las cuales poseen una hendidura que encajan con el eje del motor y se acoplan mediante dos tuercas.



Ilustración 42-3: Horquilla unida mediante soldadura

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023

Para terminar la horquilla se la unió con un tubo de 45,7 cm con un diámetro de 7,8 cm, la unión se hace mediante soldadura TIG. El tubo es de un tamaño considerable por la razón que el motor tiene mucha tracción y esta pieza ayuda a transmitir correctamente la fuerza. El material de construcción de este elemento es de Acero ASTM A36.



Ilustración 43-3: Horquilla completada

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023

El manubrio seleccionado es el de una bicicleta justamente por estar diseñado para el fácil uso mediante las manos, además que solo deben instalarse frenos, acelerador, velocímetro y *display*. En primer lugar, se instala el *display*, velocímetro y acelerador, por estar estas piezas al centro del manubrio, después se colocan los frenos a una distancia de 11 cm del final del manubrio.



Ilustración 44-3: Instalación de los elementos del manubrio.

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023

El manubrio elegido cuenta con las siguientes medidas 68 cm de largo y un diámetro de 2,54 cm con un espesor de 1,5 mm; se tiene una salida en la mitad que une el manubrio con el tubo principal de la horquilla, esta pieza mide 12 cm de largo y un mismo espesor de 1,5 mm. Estas piezas están unidas mediante abrazaderas como se observa en la ilustración 45-3.

Para completar la parte delantera del prototipo, se unirá el manubrio con la horquilla mediante un bocín y una abrazadera de bicicleta, en la parte superior del tubo principal de la horquilla.



Ilustración 45-3: Instalación de los elementos del manubrio.

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023.

3.9.2. Manufactura de los brazos

Los brazos son el elemento que se acopla desde el eje de la horquilla hasta la silla, estos tienen una distancia de 45 cm desde la altura de la placa hasta el final de los brazos.

La siguiente sección en construir son los brazos, estos poseen dos placas (ver ilustración 46-3) con pernos que les permiten a los brazos abrirse o cerrarse según se necesite, a su vez estas placas están conectadas a la horquilla mediante dos pernos.



Ilustración 46-3: Placas de los brazos anclados a la horquilla

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023.

Los brazos se introducen a dos tuercas que están acopladas a la silla en su parte delantera.

En la parte final de los brazos estos tienen un agujero por donde se cruzará un pasador para asegurar los brazos a la parte posterior de la silla.



Ilustración 47-3: Acople de los brazos a la silla

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023.

3.9.3. *Manufactura de los apoyos*

Estos elementos le dan mayor facilidad al usuario al momento de realizar el acople del equipo a la silla. Los apoyos son parecidos a los brazos, los mismos están soldados a la horquilla y tienen una inclinación que llega hasta el suelo terminando con una pequeña rueda (ver ilustración 48-3).



Ilustración 48-3: Apoyos soldados a la horquilla

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023.

Se arma todo el equipo y se lo acopla a la silla para realizar las primeras pruebas de funcionamiento. Finalmente se pinta toda la estructura para darle una óptima apariencia.



Ilustración 49-3: Prototipo pintado y acoplado

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023.

3.9.4. Implementación de los elementos de control del equipo

Para esta sección final se hace la conexión de baterías, motor, acelerador, display y frenos al controlador que es el que permite el correcto funcionamiento del sistema impulsor. Se instalan 4 baterías de 12V en serie, donde sus voltajes se suman y logran alimentar al motor de 1000w, además se añade unos pequeños ventiladores que ayudan al enfriamiento de las baterías cuando están a pleno uso.



Ilustración 50-3: Prototipo en pleno funcionamiento

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023.

3.10. Pruebas de funcionamiento

3.10.1. Velocidades alcanzadas

Estas pruebas se realizaron en el recorrido mostrado en la ilustración 51-3, las condiciones del equipo fueron a carga llena, con el peso del ocupante igual a 72Kg valor que excede el peso común de las personas que padecen paraplejía. Además, tomando en cuenta el peso propio del equipo, la superficie de desplazamiento contiene pendientes de hasta 5 grados.

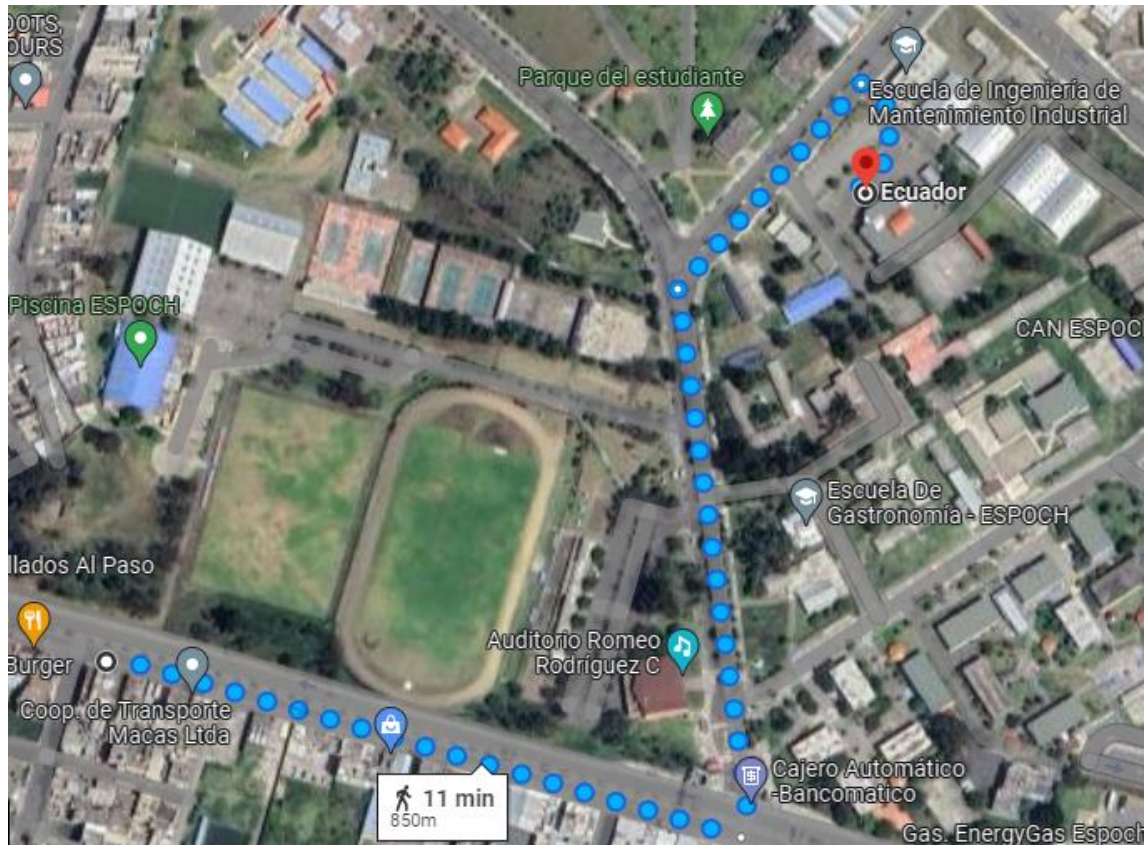


Ilustración 51-3: Ruta recorrida en pruebas de funcionamiento

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023.

Para tal distancia y tiempo de recorrido, aplicamos la ecuación 24 para determinar la velocidad promedio, que se obtuvo en cierto tramo, tanto de ida como de regreso, además de tomar en cuenta factores como el tráfico, señales de tránsito etc. Con la ecuación (27) se calcula la velocidad promedio.

$$V_{pr} = \frac{Dist}{t} \quad (27)$$

Donde:

V_{pr} = Velocidad promedio

$Dist$ = Distancia recorrida

t = Tiempo

Los tiempos que se obtuvieron para recorrido de ida y regreso se muestran en la ilustración 52-3 respectivamente, cabe mencionar que por cuestiones de seguridad es recomendable no ir a grandes

velocidades. Siendo esta una posibilidad que provee el motor del prototipo, sin embargo, al tener el enfoque el proyecto, de ser adaptable a cualquier modelo de silla de ruedas no se puede tener control sobre las posibilidades que pueda permitir la misma, sobre todo al momento de dar los giros. Por tanto, lo más prudente sería respetar tal condición y solo aprovechar velocidades superiores en tramos rectos, sin mucho tránsito que pueda acarrear peligros a los usuarios. Esta mención recae precisamente en esta prueba ya que la zona de recorrido posee un gran tránsito vehicular, así como de personas.



Ilustración 52-3: Tiempo de recorrido en pruebas de funcionamiento

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023.

Para los valores obtenidos tenemos un tiempo promedio de alrededor de 4 min con 21 segundos, que equivalen a 261 segundos, por tanto:

$$V_{pr} = \frac{Dist}{t}$$

$$V_{pr} = \frac{850m}{261\text{ seg}}$$

$$V_{pr} = 3,257m/s$$

$$V_{pr} = 11,725Km/h$$

Para un tramo recto de análisis y con la inclinación de 5 grados, que se logra observar en la ilustración 53-3, las pruebas arrojaron los siguientes resultados.



Ilustración 53-3: Ruta recta para pruebas de funcionamiento

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023.

La distancia es como se observa alrededor de 150m, para tal ruta recta, tanto de ida como regreso y sin presencia de flujo vehicular se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 20-3: Tiempos de las pruebas tramo recto

Número de prueba	Tiempo (Segundos)
1	58,46
2	57,34
3	58,71
4	1:01,56
Promedio	59,02

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023

Correspondiendo los análisis anteriores para tales datos tenemos:

$$V_{pr} = \frac{Dist}{t}$$

$$V_{pr} = \frac{300m}{59,02 \text{ seg}}$$

$$V_{pr} = 5,083m/s$$

$$V_{pr} = 18,299Km/h$$

Se puede evidenciar que para tramos rectos con poco flujo vehicular el dispositivo puede proveer una velocidad superior a los 18Km/h, más sin embargo se vuelve a mencionar que es recomendable tener las condiciones de seguridad adecuadas, especialmente en los tramos que se requiera hacer giros.

3.10.2. Tracción del equipo en funcionamiento

De manera empírica se analizó que el equipo funcionó bien en terrenos difíciles y en pendientes de más de 7°, además de la fuerza de tracción que dio el motor, el neumático permitió que esta tracción sea correctamente aprovechada, es así como el objetivo de dar buena tracción al prototipo se ha cumplido. Se hizo un pequeño cálculo del torque desarrollado.

Para una velocidad crítica de subida en pendiente de 12 km/h, una potencia de 1000w, se tiene:

$$12 \frac{km}{h} * \frac{1h}{3600s} * \frac{1000 m}{1 km} = 3,333 m/s$$

$$w = \frac{V}{r} = \frac{3,333 \frac{m}{s}}{0,139 m} = 23,98 rad/s$$

$$\tau = \frac{P}{w} = \frac{1000w}{23,98 rad/s} = 41,7 Nm.$$

Cálculo estimado de la fuerza del equipo:

$$\tau = F * \frac{r}{G}$$

$$F = \frac{\tau}{r} = \frac{41,7 Nm}{0,139 m} = 300 N$$

Los valores del torque y la fuerza son valores mayores a los calculados para la selección del motor, por ende, se puede concluir que el motor elegido cumple su función correctamente.

3.11. Análisis de costos

3.11.1. Costos directos

En la construcción del equipo impulsor se hicieron gastos relacionados con la compra de materiales y equipos, gastos de alquiler de equipos y mano de obra, todo esto hacer referencia a los costos directos.

Tabla 21-3: Costo de equipos para la construcción del sistema impulsor

Elemento	Definición	Cantidad	Precio unitario (USD)	Total (USD)
Motor de cubo	1000W 40V	1	210,60	210,60
Controlador	36 V 30A >400 W	1	105,5	105,5
Frenos con controlador	Frenos de disco	1	40	40
Batería	Plomo ácido 36V 7,5 Ah	4	75	300
Neumático	Inflable de caucho	1	5	5

Rueda	11in x 2	1	5	5
Kit de freno y acelerador	Wheelway	1	90	90
			Total	756,1

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023.

Tabla 22-3: Costo de materiales de construcción de la estructura del equipo impulsor

Elemento	Definición	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Precio total (USD)
Tubo redondo 2,25"; e = 2 mm	Tubo de acero estructural A-36	2	3	6
Plancha 40cm x 40cm x 5mm	ASTM A-36	2	3,5	7
Abrazaderas	Aluminio 6060-T3	3	4	12
Tubo redondo 1,25"; e = 2mm	AISI 1020	1	3	3
Pernos Grado 8,8	SAE 1045	9	1,30	12
Láminas de acero 5x8cm; e=3mm	ASTM A-36	2	1,5	3
Ruedas; Empuñaduras	PLA; Caucho	2; 2	0,5; 1,45	3,9
			Total	46,9

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023.

Tabla 23-3: Costo de equipos y herramientas

Cantidad	N° de horas	Precio por hora (USD)	Precio total (USD)
Soldadora	3	12	36
Amoladora	10	3	30
Dobladora de tubos	2	4	8
Pulidora	2	5	10
Torno	1,5	5	7,5
Alquiler de computador	20	20	400
		Total	491,5

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023.

Tabla 24-3: Costo de mano de obra

Cantidad	N° de horas	Precio por hora (USD)	Precio total (USD)
Técnico de torno	4	5	20
Técnico mecánico	20	7	140
Soldador	5	20	100
Técnico pintor	4	5	20
Total			280

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023.

Tabla 25-3: Costos totales directos

Tipo de costo	Costo (USD)
Equipos para la construcción del sistema impulsor	756,1
Materiales de construcción de la estructura del equipo impulsor	46,9
Equipos y herramientas	491,5
Mano de obra	280
Transporte	200
Total	1774,5

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023.

3.11.2. Costos indirectos

Existen gastos que no tienen relación directa con el costo de manufactura como tal, pero si aumentan el precio final del proyecto, por lo tanto, deben ser tomados en cuenta.

Tabla 26-3: Costos indirectos

Detalle	Precio total (USD)
Costo ingenieril	300
Imprevistos	0
Utilidad	0
Total	300

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023.

3.11.3. Costos totales

Los costos totales son todo dinero que se gastó para construir el prototipo tomando en cuenta absolutamente todos los gastos posibles, el costo total es la suma de los costos directos más el costo de los indirectos.

Tabla 27-3: Costos totales

Detalle	Precio total (USD)
Costos directos	1774,5
Costos indirectos	300
Total	2074,5

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023.

CAPÍTULOS IV

4. RESULTADOS

4.1 Análisis de definición de producto

Para la conceptualización del prototipo se prioriza la voz del usuario, sin perder el rumbo diseño como tal dado por el ingeniero diseñador. Al tratarse de personas discapacitadas sus principales parámetros de elección fueron la de comodidad y funcionalidad; el usuario siempre prefiere una herramienta que le dé la mayor autonomía posible al momento de moverse, siempre y cuando su silla sea cómoda y funcional.

Para complementar los parámetros se tomó en cuenta, la confiabilidad del aparato y la parte física del mismo, esta parte aborda la capacidad del prototipo para soportar cargas, resistencia al ambiente y la fuerza de tracción; ésta última fue nombrada muchas veces por las personas a las que usan este tipo de sillas, ya que al no tener la suficiente tracción en terrenos difíciles pierden la autonomía de trasladarse por su cuenta y necesitan de terceros. Se debe mencionar algo importante y es que en el país no existe una empresa o personas que se dediquen exclusivamente al diseño y construcción de sillas autopropulsadas, el análisis de competencias se hizo con trabajos de investigación realizados por investigadores y estudiantes de algunas universidades del país.

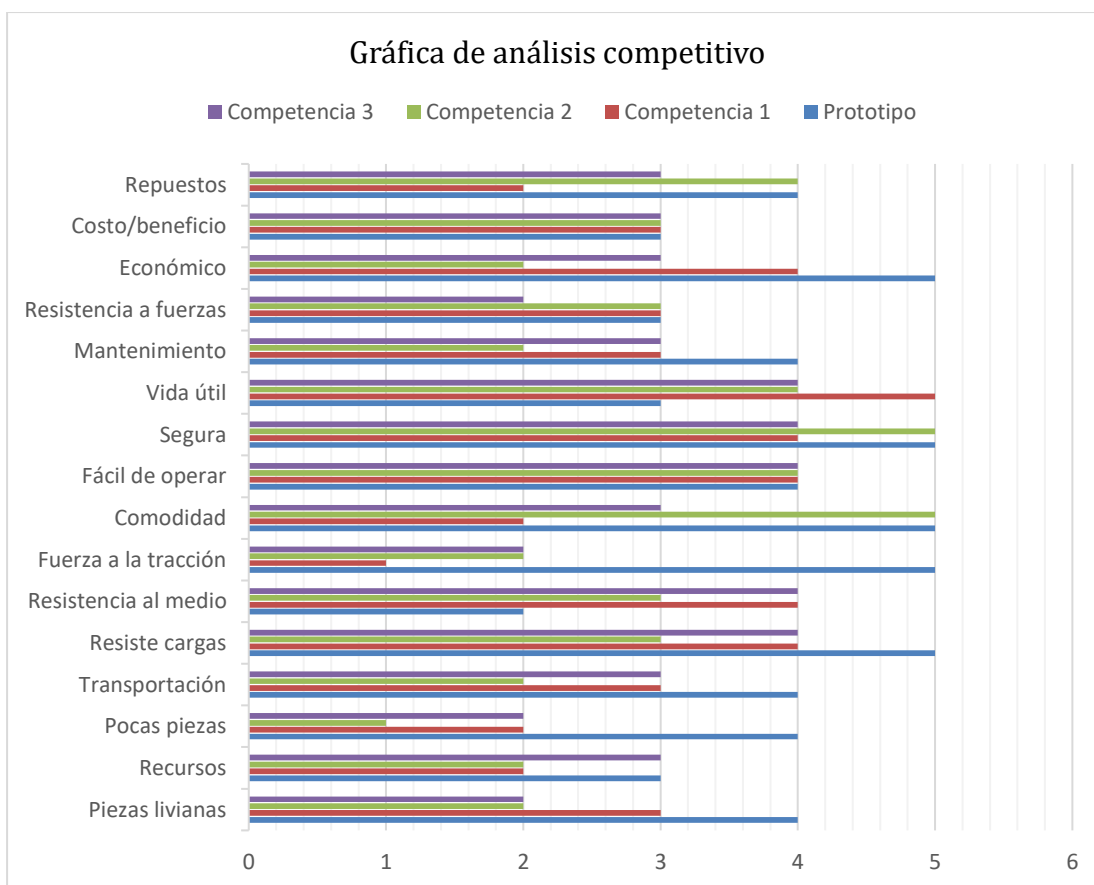


Ilustración 1-4: Gráfica de análisis competitivo

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023

La ilustración 2-4 permitió encontrar las deficiencias actuales que poseen los modelos existentes, entre las principales se tienen falta de tracción en terrenos no buenos, poca confiabilidad, dificultad para armado y transporte, escasez de piezas para su construcción y la poca resistencia al medio ambiente.

Tomando las deficiencias de la competencia añadiendo la voz del usuario y del ingeniero, se proponen 3 principales alternativas de diseño. Mediante la matriz morfológica y el método ordinal corregido de criterios ponderados se eligió la alternativa tres, la gráfica siguiente muestra las conclusiones de alternativas.

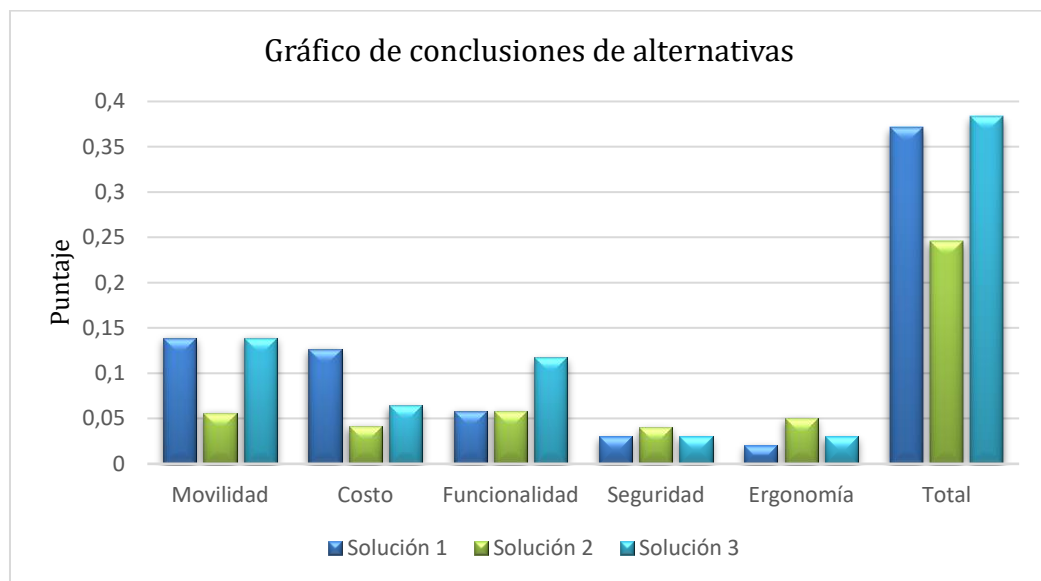


Ilustración 2-4: Gráfico de conclusiones de alternativas

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023

El prototipo elegido posee una llanta desmontable con motor de cubo incluido, el manubrio es de unión simple, todo el sistema se alimenta con una batería de ácido plomo y el material principal de construcción es tubo de acero estructural de uso común.

4.2 Análisis de diseño

4.2.1 Selección de elementos

En esta sección se analizan los diferentes factores que intervienen al momento de mover una silla de ruedas con sistema autopropulsor, los cuales son: el peso del usuario más el peso del resto del equipo, la velocidad que se busca alcanzar, fuerza de tracción en terrenos complicados y fuerzas externas del ambiente.

Se realizan los cálculos de las diferentes fuerzas que el motor debe vencer para mover la silla a una velocidad dada. Se calculó la fuerza en función de la mayor pendiente posible a transitar, a continuación, se muestra la gráfica de Fte en función de la pendiente.

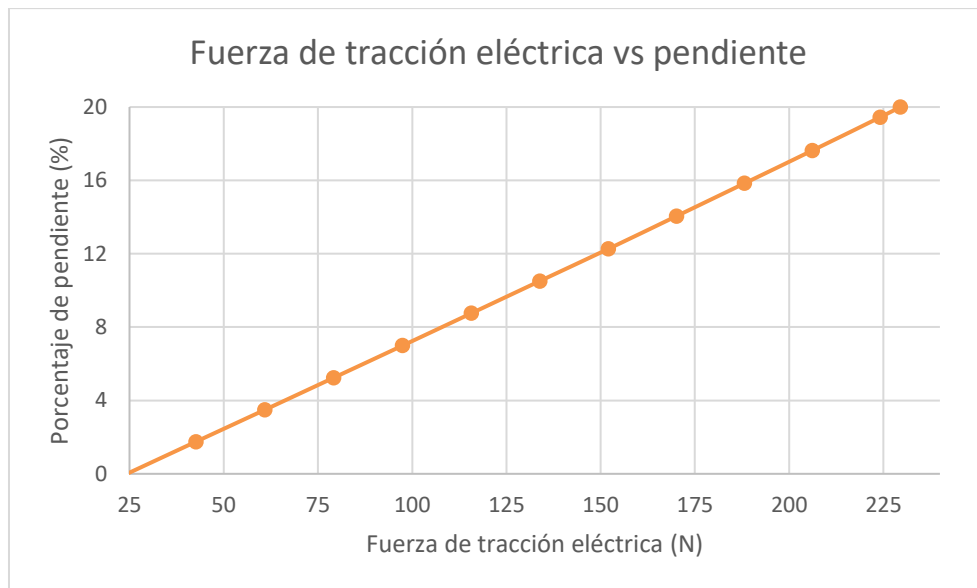


Ilustración 3-4: Fuerza de tracción eléctrica vs Pendiente

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023

Con el dato de la fuerza de tracción eléctrica se procede a realizar varios cálculos más los cuales permiten la elección de motor, controlador, sistema de frenos y de la alimentación del equipo. A continuación, se presenta el gráfico torque vs fuerza eléctrica mediante la variación de la pendiente en donde se moverá el prototipo, de modo que se obtiene un rango de torque para una velocidad máxima en pendiente de 5 km/h y aceleración de $0,0802 \text{ m/s}^2$.

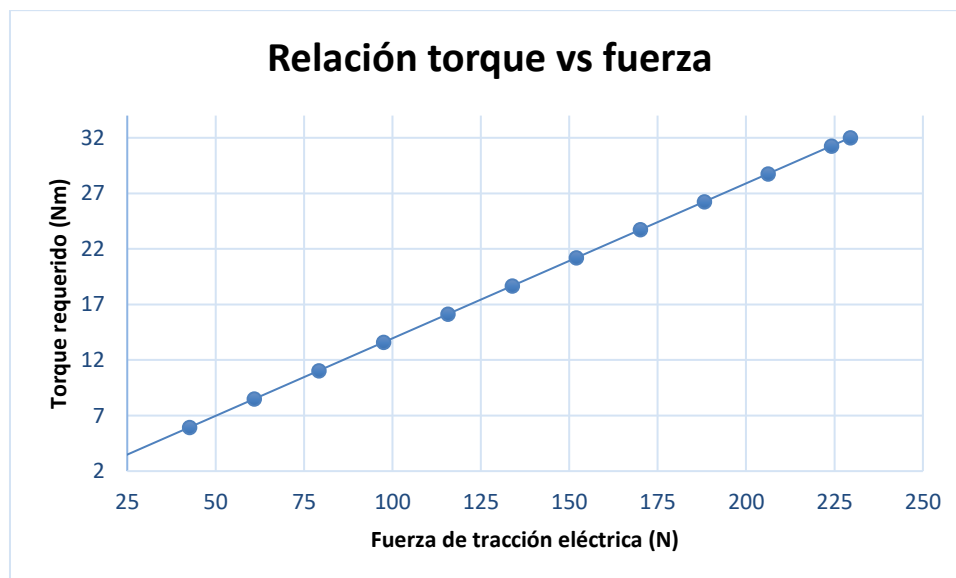


Ilustración 4-4: Relación torque vs fuerza eléctrica.

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023

Se observa en la gráfica que el torque requerido mínimo aproximado es de 3 Nm y el máximo posible necesario es de 39 Nm aproximadamente, tomando en cuenta una variación de pendiente del 0% hasta el 20% para un vehículo que pesa 107 kg.

En la siguiente tabla con los valores de varias magnitudes físicas que se tomaron en cuenta al momento de la selección de elementos:




Tabla 1-4: Valores de magnitudes físicas utilizadas para la selección de elementos.

Magnitud	Valor
Fuerza de tracción eléctrica	149,45 N
Torque requerido	20,77 Nm
Velocidad angular	477,12 rpm
Potencia requerida	207,586 watts
Potencia de motor	244,2188 watts

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023

En la siguiente tabla se exponen los elementos seleccionados para el arme y funcionamiento de la silla de ruedas autopropulsada:

Tabla 2-4: Elementos seleccionados para la silla autopropulsada

Elemento	Modelo-Tipo
Motor	 <p>Motor de cubo brushless, sin escobillas sin engranes. Modelo TX-11. 1000 w</p>
Controlador	 <p>Controlador 48 V 20 A para kit de 1000w, marca Lantian..</p>
Frenos	 <p>Freno de disco – Bolids</p>

Batería		Batería de plomo ácido-HUAWEI, recargable
---------	---	---

Fuente: Biobike

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023

4.2.2 *Diseño de forma y selección de materiales*

Como se puede evidenciar los diseños están enfocados en la facilidad tanto de manejo, como de obtención o costo de los materiales a usar en la construcción, ya que las demandas tensionales no son de gran exigencia. Esto aclarando que el sistema como tal no soporta la carga del usuario, dicha tarea la tiene la silla de ruedas, que no es área de prioridad de estudio en este trabajo, mencionando esto el prototipo tendrá que soportar la carga de su propio peso y demás elementos del sistema. Estos vendrían siendo elementos como manillares, pedales, sistema de control o batería, siendo esta última la que mayor de peso represente. Nuestro prototipo cuenta con la característica de que posibilita la elevación deseada de las ruedas delanteras de la silla, para evitar la fricción de estas y aumentando la eficiencia del movimiento. Es en esta acción se puede ligar ciertas tensiones en los elementos del prototipo, representando estas de igual manera un valor sin gran relevancia en el material. Los criterios de evaluación realizados son para un acero ASTM A36 de 2,5 pulgadas de diámetro exterior y 5mm de espesor, para el eje principal, estos fueron bastante favorables aun para condiciones críticas, con pesos superiores a los que se puede tener en el prototipo. Hay que destacar el uso de materiales tales como el aluminio 6061 T6, pernos de grado 8.8, además del eje del motor cuyo material de fabricación es el acero AISI 1045.

Tabla 3-4: Propiedades de los materiales del prototipo

Propiedad	ASTM A36	Aluminio 6061	Pernos grado 8,8	SAE 1045
Esfuerzo a la fluencia (Sy)	250MPa	276MPa	640MPa	310MPa
Esfuerzo a la tensión (Sut)	400MPa	310MPa	800MPa	570MPa
Densidad	7,85g/cm ³	2,70g/c m ³	-	7,87g/cm ³
Módulo de elasticidad (E)	200GPa	68,9GPa	-	-

Fuente: PANEL y TIGERS, 2023

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023

Los esfuerzos que se destacan son los de cizalla y esfuerzos de aplastamiento, mientras que en los brazos se puede destacar la presencia de torsión y flexión por las configuraciones del brazo, así como de la aplicación de las fuerzas, ligadas estas a los acoples con la silla. De igual manera para las placas que se usaran en el prototipo, el material de estas es acero ASTM A36, cuyas propiedades se detallan en la tabla 3-4. Además de las propiedades ya citadas, cabe mencionar las grandes facilidades que provee en cuanto a soldabilidad, empernado entre otros.

Como se puede observar por la configuración de las fuerzas que se presentan, los elementos estarán sometidos a una diferente composición de esfuerzos los cuales, corresponden a una buena respuesta del material. Priorizando factores de seguridad elevados que no permitan interpretar fallos en los elementos. Uno de los elementos clave en el desarrollo de este trabajo es la pieza de anclaje que se posiciona en el eje principal, tiene la importante misión de permitir la conexión entre brazos y chasis, además de proveer los giros adecuados para el acople del sistema. Su diseño responde a un punto que servirá de giro, con una configuración de placas en la que se unirán los brazos, antes de esta se tiene un punto de anclaje con las placas. Las placas proveen un canal que permitirá a los brazos adaptarse las diferentes variaciones de anchura que se tenga, facilitando el acople con la silla. Sin embargo, todos los esfuerzos que se generan en los brazos se transmiten a este elemento, siendo más exactos a la placa en la que se acoplan los brazos.

Los valores obtenidos de esfuerzo han sido poco relevantes en los materiales, esto nos indica una clara eficiencia y garantía de los materiales y los elementos del sistema. Ya que ningún valor presenta como tal un riesgo a la rotura al menos para las cargas evaluadas, siendo los brazos los elementos que mayor riesgo puedan presentar. Pero para condiciones ya superiores a las críticas como se ha mencionado.

4.1 Análisis de los resultados obtenidos en el software de simulación

En este apartado se utilizó el software de ANSYS *Workbench* el cual utiliza el método de elementos finitos para realizar diferentes tipos de cálculos referentes a muchas de áreas de ingeniería.

En principio se hizo un análisis total del equipo, en donde existieron dos versiones, una cuando la estructura debe soportar el peso total en conjunto con la fuerza a vencer para mover la silla más el peso del ocupante; y la segunda versión es con el equipo en posición estática, tomando en cuenta solo el peso de la estructura, además del peso de los dispositivos.

Además, se realizó la simulación del cálculo de esfuerzo equivalente, deformación total, esfuerzo cortante máximo y factor de seguridad en cuatro elementos mecánicos que fueron considerados los más críticos. A continuación, se presenta una tabla de los valores obtenidos.

Tabla 4-4: Valores obtenidos de esfuerzos y deformaciones en simulación

	Esfuerzo equivalente (MPa)	Deformación total (mm)	Factor de seguridad, n
Todo el equipo (instante antes de arrancar)	188,75	0,25076	15
Todo el equipo (en posición estática)	72,617	0,13387	15
Horquilla	3,92	0,10645	15
Brazo	88,495	0,0048134	15
Pieza de anclaje	42,645	0,77644	15
Eje de motor	17,763	0,001426	15

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023

El principal material para construcción de estas piezas críticas fue Acero ASTM A36, por su alta resistencia y las cargas mínimas que se encuentra sometido todo el prototipo, los esfuerzos equivalentes y deformaciones totales son mínimas y el factor de seguridad calculado es muy alto. Según la teoría se debería utilizar un material menos resistente y más liviano, pero al momento de la construcción se toman en cuenta otros factores como son precio, peso y facilidad de encontrarlo en el mercado, por ello el acero seleccionado, aunque es muy resistente para las cargas de deberá soportar, es un material barato y de mucha facilidad para encontrarlo en el mercado.

4.1 Análisis de las pruebas de funcionamiento

Los cálculos de los valores después del funcionamiento han sido más que aceptables satisfaciendo las necesidades iniciales que se plantearon. En la tabla 30-4 se indican estos valores.

Tabla 5-4: Valores calculados para una velocidad de 12 km/h.

Magnitud	Valor
Fuerza	300 Nm
Torque	41,7 Nm
Velocidad angular	227,85 rpm
Duración de batería	1,48 h
Autonomía de la batería en plano	15 km
Autonomía de la batería en pendiente	7 km
Tiempo de carga	2,14 h

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023

De manera empírica se logró constatar el correcto funcionamiento del equipo. Se presenta una tabla 6-4 de valoración de los diferentes parámetros que se analizaron.

Tabla 6-4: Valoración del rendimiento del equipo

		Malo	Aceptable	Bueno	Muy bueno
1	Piezas livianas	x			
3	Pocas piezas		x		
4	Transportación		x		
5	Resiste cargas			x	
6	Resistencia al medio			x	
7	Fuerza de tracción				x
8	Comodidad			x	
9	Fácil de operar			x	
10	Segura		x		
12	Mantenimiento			x	
13	Resistencia a fuerzas				x
14	Económico		x		
15	Costo/beneficio			x	
16	Repuestos		x		

Realizado por: Toledo, S.; Chamba, J. 2023

Con la realización positiva de las pruebas de funcionamiento y los cálculos de las magnitudes físicas importantes, se puede concluir que se han cumplido satisfactoriamente las necesidades que se plantearon en este trabajo.

CONCLUSIONES

En el Ecuador no existen realmente una empresa que comercialice o fabrique este tipo de equipos, por lo tanto, el análisis de competencias se lo realizó comparando otros trabajos de titulación de diferentes universidades en donde se diseñaban equipos parecidos al nuestro. Además abre la posibilidad para emprender con este tipo de equipos.

Se cumplió a cabalidad con el parámetro más pedido por el usuario el cual fue que el equipo posea una tracción fuerte, con una potencia de 1000w en el motor, una horquilla de suficiente peso, además de un neumático adecuado garantizaron el cumplimiento de esta necesidad.

Las pruebas demostraron que conseguir un solo modelo de sistema impulsor 100% acoplable a cualquier tipo de sillas es muy complicado ya que se deben tomar varios otros parámetros como son: tamaño del usuario, si este es niño o adulto, en qué tipo de terrenos recorrerá la silla, condiciones del ambiente, porcentaje de discapacidad, etc.

Como bien se menciona el proyecto se destina a poder acoplarse a cualquier modelo de silla de ruedas, por tanto, la aplicación de fuerzas, distancias o dirección variará según el modelo al que se acople, por ello, los cálculos se realizaron mediante estimaciones y promedios, considerando factores críticos.

Con la realización de las pruebas se constató el correcto funcionamiento del prototipo consiguiendo velocidades de hasta 18 km/h, con una duración de batería de 1,48 h y distancia máxima de recorrido continuo de 15km, se demostró que el sistema impulsor es capaz de subir sin problemas cuestas con una pendiente del 12% y pasar sobre terrenos difíciles sin gran dificultad.

RECOMENDACIONES

En futuros proyectos se recomienda realizar un análisis previo de costos de los elementos dispositivos, además de prever la disponibilidad de estos en el país.

Se recomienda no acelerar a más de 12 km/h, además de no girar a altas velocidades ya que la silla como tal no está diseñada para giros de este tipo.

La pieza de anclaje que une la horquilla y los brazos es la de mayor importancia en relación de fuerzas que soporta y de la función que cumple, esta debe de proporcionar buena resistencia y rigidez para cumplir con los requisitos que necesite el prototipo.

Por cuestión de poco peso y alta capacidad se recomiendan las baterías de LiPo (polímero de litio) demostraron ser la mejor opción, por su alta capacidad para ser recargadas, además de ser fácil de conseguir y relativamente baratas.

Considerar el adquirir ciertos elementos que se encuentran existentes en el mercado, de tal manera que se ahorren tiempos de construcción y costos, además de la influencia de sus dimensiones en el diseño de los demás elementos, siendo para nuestro caso el grosor de la rueda factor de gran influencia en el diseño de la horquilla, por citar un ejemplo.

Para este trabajo, por situación de costos y fácil disponibilidad se eligió al acero estructural, sin embargo, para posteriores diseños se recomienda usar materiales más livianos como el aluminio, para así reducir el peso del equipo.

BIBLIOGRAFÍA

AMANECER MÉDICO, Sillas de ruedas. [En línea]. S.l.: s.n. 2022. [Consulta: 5 noviembre 2022]. Disponible en: <https://www.amanecermedico.com/es>.

ARCIA HERNÁNDEZ, Jesús Alberto, Crear una silla de ruedas eléctrica de bajo costo para personas con discapacidad motriz controlada por un dispositivo manual y móvil con sistema operativo android. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Córdoba-Argentina: Universidad de Córdoba. 2015. pp.72-73. vol. 13. ISBN 9781479978007.

AVILA, Eduardo, CUÁSQUER, Verónica, ORTEGA, Leonardo & POZO, Marcelo, Diseño y construcción de un controlador electrónico de velocidad con freno regenerativo para una plataforma autónoma móvil terrestre con tracción diferencial. Escuela Politécnica Nacional [En línea]. S.l.: s.n. 2016. pp.172-183. [Consulta: 8 octubre 2022]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/15093>.

BEDÓN, Luis Fernando, Sistema de control para la movilidad y extensión de una silla de ruedas eléctrica de bipedestación [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Ambato-Ecuador: Universidad Técnica de Ambato. 2017. pp.724-732. [Consulta: 8 octubre 2022]. vol. 4. ISBN 9783319600536. Disponible en: https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/26094/1/Tesis_t1289ec.pdf.

BIOBIKE, ¿Qué papel juega el controlador de una bici eléctrica? [En línea]. S.l.: s.n. 2022. [Consulta: 8 noviembre 2022]. Disponible en: <https://www.biobike.es/2021/09/29/controlador-de-una-bici-electrica/#:~:text=Entre sus funciones%2C recibir y,parada de tu e-bike..>

CERINO JIMÉNEZ, Rigoberto, Desarrollo de un sistema mecatrónico para controlar una silla de ruedas motorizada mediante diversos dispositivos por enlace inalámbrico. (Trabajo de titulación) (Maestría). Puebla: Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. 2017. pp.159.

CHUQUIANA, Edison, TORRES, Guido & SALAZAR, Freddy, Diseño e implementación del tren motriz con motor eléctrico y transmisión CVT, para un vehículo. ESPE. Latacunga-Ecuador: s.n. 2010.

COELLO, Xavier & DE SANTIS, Juan, Diseño de una silla de ruedas motorizada a bajo costo. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Guayaquil-Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral. 2015. pp.29.

CONTRERAS VILLAMIZAR, Eybar Farith & SÁNCHEZ RODRÍGUEZ, Rolando, Diseño y construcción de un banco de prácticas en motores eléctricos, como apoyo a la asignatura diseño de máquinas II [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Bucaramanga-Colombia: Universidad Industrial de Santander. 2010. pp.282. Disponible en: <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/2461/4/TFLACSO-2010ZVNBA.pdf>.

DÍAZ, J.M., Análisis Técnico: Sistema de almacenamiento de energía. [En línea]. S.l.: s.n. 2014. [Consulta: 9 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.caranddriver.com/es/formula-1/a36200/analisis-tecnico-sistema-de-almacenamiento-de-energia/>.

FERNÁNDEZ GONZÁLEZ, David, Simulación dinámica de mecanismos complejos. (Trabajo de titulación) (Maestría). Oviedo-España: Universidad de Oviedo. 2018. pp 4-5.

FRANCÉS GARCÍA, Aida, Diseño de un sistema de tracción de una silla de ruedas basada en una oruga con geometría adaptable. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). València: Universidad Politécnica de Valencia. 2021. pp.9.

GABRIAN TEAM, Aluminio 6061: Conozca Sus Propiedades y Usos. GABRIAN [En línea]. S.l.: s.n. 2020. [Consulta: 16 enero 2023]. Disponible en: <https://www.gabrian.com/es/aluminio-6061-conozca-sus-propiedades-y-usos/#:~:text=Algunas%20caracter%C3%ADsticas%20generales%20de%20el%206061%20Es%20una,y%20a%20la%20corrosi%C3%B3n%20mejoran%20con%20el%20templado.>

GONZÁLES SANTACRUZ, Cesar Andrés, Análisis técnico de los diferentes tipos de baterías comercialmente disponibles para su integración en el proyecto de una microrred aislada. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Bogotá-Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. 2015. pp.10-17. vol. 151. ISBN 9781450349185.

HERNÁNDEZ, Pedro & MORALES, Roberto, Análisis y elección de un motor brushless para accionar una bicicleta eléctrica. Celaya: Academia Journals [En línea]. S.l.: s.n. 2017. [Consulta: 14 abril 2023]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/323664289_Analisis_y_Eleccion_de_un_Motor_Brushless_para_Accionar_una_Bicicleta_Electrica.

HOYOS, Juan, MONTOYA, Andrés & BOHORQUEZ, José, Investigación, diseño y prototipo de una bicicleta eléctrica y tecnologías emergentes en baterías. (Trabajo de grado). Medellín, Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana. 2013. pp.62-64.

INEN 005-9-1, Accesibilidad de las personas al medio físico, edificios, rampas fijas. Instituto Ecuatoriano de Normalización. S.l.: s.n. 1992. pp.21. vol. 2.

IPAC, Catalogo IPAC nacional. IPAC. 2023. pp.8-9.

KARMA, Historia de la silla de ruedas. Karmamobility [En línea]. S.l.: s.n. 2020. [Consulta: 25 septiembre 2022]. Disponible en: [https://www.karmamobility.es/2020/04/historia-de-la-silla-de-ruedas/#:~:text=La primera silla de ruedas conocida \(inventada en 1595 y,un chasis de tres ruedas..](https://www.karmamobility.es/2020/04/historia-de-la-silla-de-ruedas/#:~:text=La primera silla de ruedas conocida (inventada en 1595 y,un chasis de tres ruedas..)

LARMINE, J. & LOWRY, J., Electric Vehicle Technology Explained. John Wiley & Sons. England: John Wiley & Sons Ltd. 2012.

MYSZKA, David H., Máquinas y Mecanismos. Cuarta edición. David H. Myszka. Cuarta edi. México: PEARSON EDUCATION. 2012. pp.1-2. ISBN 9780132157803.

OLMO, Nave, Baterías. Hyperphysics [En línea]. S.l.: s.n. 2019. [Consulta: 11 diciembre 2022]. Disponible en: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/electric/battery.html>.

OSWAL, Mehul, PAUL, Jason & ZHAO, Runhua, A Comparative Study of Lithium-Ion Batteries. University of Southern California [En línea]. S.l.: s.n. 2010. pp.31. [Consulta: 7 enero 2023]. Disponible en: http://www-scf.usc.edu/~rzhao/LFP_study.pdf.

PAREDES, Evelyn, Diseño e implementación de un sistema de control de linealidad de la trayectoria de una silla de ruedas manejada mediante comandos de voz, para personas cuadripléjicas. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Quito-Ecuador: Escuela Politécnica Nacional. 2020. pp.IV.

PLAZA, Ortopedia, La importancia de los frenos en las sillas de ruedas. Ortopedia plaza [En línea]. S.l.: s.n. 2019. [Consulta: 18 marzo 2022]. Disponible en: <https://www.ortopediaplaza.com/la-importancia-de-los-frenos-en-las-sillas-de-ruedas/>.

QUINATO AIGAJE, Edison Joel & VELOZ VIZUETE, Bryan Aldemar, Diseño y construcción de un sistema de propulsión anclable a una silla de ruedas para traslado autónomo de personas parapléjicas en zonas urbanas [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Riobamba-Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 2019. pp.47-59. [Consulta: 18 junio 2023]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/11626>.

RESHÉTOV, D,N, Atlas de elementos de máquinas y mecanismos. Primera edición. Barcelona-España: Ediciones CEAC. 1971. pp.54.

RIBA ROMEVA, Carles, Diseño concurrente. Primera Ed. Barcelona-España: s.n. 2002. pp.59-62.

RUIZ ROJAS, Arturo Falcó, Despliegue de la función calidad (Qfd). . Madrid-España: 2009. pp.12-25.

SÁNCHEZ QUEZADA, Jairo Fernando & SÁNCHEZ QUEZADA, Jorge Iván, Diseño de un prototipo de handbike con asistencia eléctrica acoplable a una silla de ruedas. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Cuenca-Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. 2020. pp.16-17.

SARTO, Maria Claudia & VEDIA, Nancy, Curso anual de auditoría médica del HA Monografía: Discapacidad motora. Curso Anual de Auditoria Médica del Ha. S.l.: s.n. 2013. pp.28.

SUÁREZ, Sergio, Técnica para generar ideas: análisis morfológico. Mprende [En línea]. S.l.: s.n. 2014. [Consulta: 24 marzo 2023]. Disponible en: <https://mprende.es/2014/06/18/tecnica-para-generar-ideas-analisis-morfologico/>.

SUMITEC, Acero estructural acero ASTM A36. SUMITEC [En línea]. S.l.: s.n. 2023. [Consulta: 26 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.sumiteccr.com/acero/estructural/AE01.pdf>.

SYED, Wasee, All Models are Wrong Structural analysis with ANSYS Workbench. S.l.: s.n., 2022.

TERRABIKE, ¿Cómo funciona el freno de disco hidráulico de una bicicleta? Terra bike [En línea]. S.l.: s.n. 2021. [Consulta: 16 marzo 2023]. Disponible en: <https://www.terrabetours.com/es/como-funciona-el-freno-de-disco-de-una-bicicleta/#:~:text=Las pastillas se colocan en,que la bicicleta se frene..>

TORRES, Yolanda, ISIDRO, Henry, PINTO, Morantes, ALBERTO, Carlos & MEDINA, Leon, Cálculo de potencia para motores de una silla de ruedas eléctrica para la comunidad infantil en condición de discapacidad de Tunja. Memorias del XXVI congreso internacional anual de la somim. S.l.: s.n. 2020. pp.4-7.

VARGAS ALDÁS, Josué Carlos, Propuesta de aplicación del modelo qfd para el análisis de satisfacción del cliente caso: Dental metrópoli. (Trabajo de titulación) (Maestría). Quito-Ecuador: Pontificia Universidad Católica del Ecuador. 2019. pp.56-57. ISBN 9781119130536.

YACUZZI, Enrique & MARTÍN, Fernando, QFD: conceptos, aplicaciones y nuevos desarrollos. Econstor. S.l.: s.n. 2003. pp.234.

ANEXOS

ANEXO A: MANUAL DE OPERACIÓN

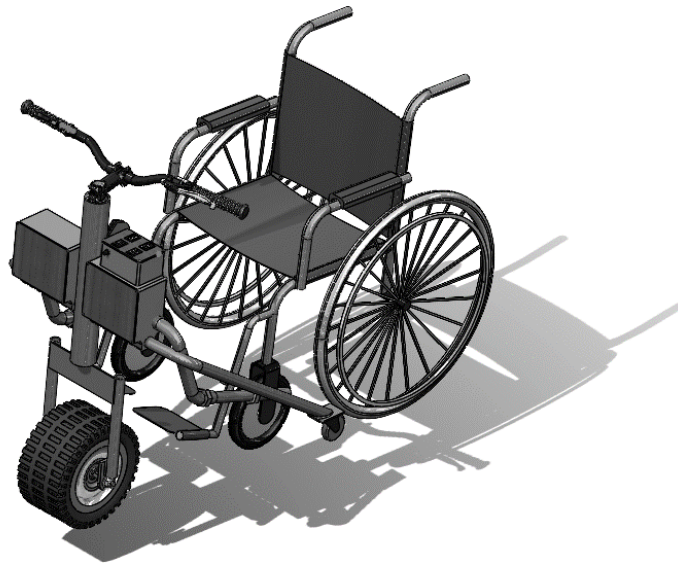
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA MECÁNICA

**PROTOTIPO DE SISTEMA IMPULSOR ELECTRICO
ACOPLABLE A SILLAS DE RUEDAS PARA PERSONAS
CON DISCAPACIDAD DE MIEMBROS INFERIORES
PARA MOVILIDAD EN ÁREAS URBANAS**

Manual de usuario



Lea estas instrucciones atentamente antes de instalar y utilizar el prototipo.

PRECAUCIONES PARA EVITAR POSIBLES ACCIDENTES AL MOMENTO DEL USO DEL EQUIPO

1. No intente utilizar el equipo si el acople no se encuentra ajustado correctamente, ya que podría generar que se tengan desacoples al momento del traslado. Es importante proporcionar el ajuste necesario que no provoque deslizamientos en los acoples ni tampoco aislamientos de estos.
2. No genere giros de una manera brusca, se recomienda ir a velocidades controladas que sean inferiores a 15Km/h, de lo contrario se puede tener volcamientos.
3. Procure no superar los límites de peso, valor de 80Kg en cuanto al peso de la persona, ya que sumado al peso del equipo puede generar deformaciones en los elementos más críticos, siendo los casos más extremos en el que se dé rotura en alguno de estos elementos.
4. El prototipo deberá ser reparado en caso de falla por personal técnico.

1. INSTRUCCIONES IMPORTANTES DE SEGURIDAD

Durante el uso de aparatos eléctricos deben seguirse una serie de precauciones de seguridad básicas, que incluyen las siguientes:

ATENCIÓN: Para reducir el riesgo de descargas eléctricas, incendios, lesiones a personas o corto circuitos:

1. Lea completamente las instrucciones antes de usar este aparato y consérvelas para futuras consultas.
2. No intente abrir las cajas donde se almacenan las baterías o los componentes eléctricos, en caso de falla solicitar la ayuda de personal técnico.
3. No utilice el prototipo si no funciona correctamente, si está dañado o a presentado fallas constantes. Si el cable de alimentación está dañado, deberá ser cambiado por el fabricante o por un servicio técnico autorizado para evitar cualquier riesgo.
4. **ATENCIÓN:** Los niños pueden utilizar el prototipo sin supervisión sólo cuando se les hayan dado las instrucciones adecuadas para que puedan usarlo de forma segura y comprendan los peligros de manejos indebidos.
5. Este dispositivo ha sido diseñado de manera que pueda ser implementado a sillas de ruedas, por tanto, no demanda ciertas consideraciones sobre las mismas, como eficiencia en los giros, calidad de las ruedas y demás elementos de la silla.
6. El prototipo debe ser colocado y ajustado de manera que se mantenga estable.

2. ESPECIFICACIONES

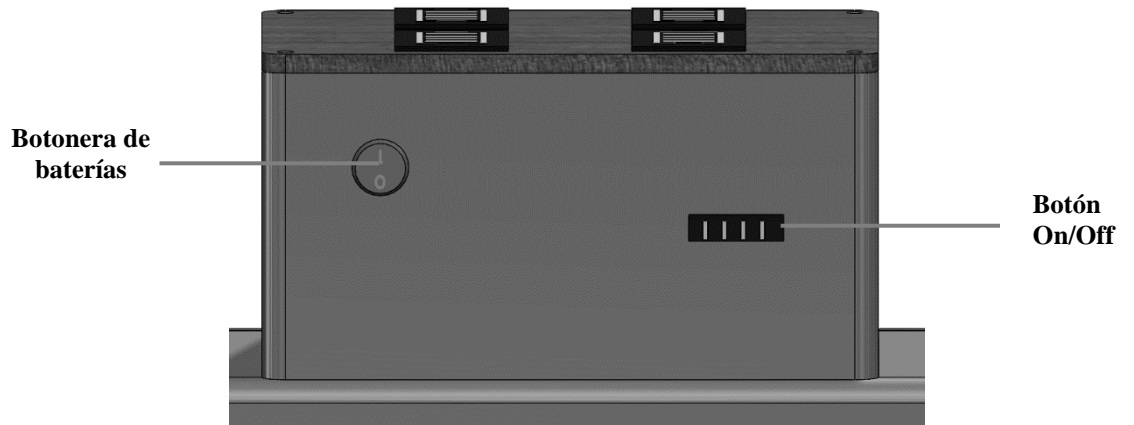
Voltaje:	48V
Potencia:	1000W-1500W
Velocidad:	60 Km/h (libre de peso)
Polos magnéticos:	15
Dimensiones horquilla:	110mm
Peso de carga:	<90Kg
Recorrido a carga completa:	12-15 Km
Duración de batería:	1 hora y media (en condiciones normales)
Peso neto:	Aprox.30 kg

3. INSTALACIÓN

1. Asegúrese de contar con los implementos necesarios para ajustar los acoples.
2. **ATENCIÓN:** Verifique que el equipo se encuentre a carga llena y que cuenta con el cargador para poder cargar el equipo o a su vez que cuente con la carga necesaria para poder recorrer los tramos requeridos.
3. Realizar de manera apropiada los ajustes de los acoples, de manera que no se pueda aislar la rosca de los pernos y que no quede tan flojo que pueda generar deslizamientos.
4. Al momento de ya acoplados los brazos colocar el perno central en la placa de acople para rigidizar el ajuste del equipo.
5. Ajustar de manera adecuada los brazos del equipo, según la distancia de la silla.

4. TRASLADO CON EL EQUIPO

1. Considerar la carga necesaria para el recorrido, tomar en consideración que se puede recorrer poco más de 3Km con la carga de una de las cuatro baterías.
2. Tomar muy en consideración que de no poder trasladarse por la acera y tener que hacerlo por la calle, permanecer junto a los lados de la calle evitando la cercanía de vehículos pesados o altos que posean puntos ciegos y genere peligro.
3. Tomar en consideración los tramos de recorrido y la exigencia que demanden los mismos ya que intervendrán de manera directa en el consumo energético.
4. Cabe destacar que para rutas rectas se puede optar por una velocidad mayor a la común, más sin embargo se recomienda conducir bajo los 12Km/h para evitar posibles inestabilidades del terreno que puedan provocar accidentes.
5. Tomar en consideración las condiciones de la silla en especial el de las ruedas, ya que estas pueden dificultar la eficiencia del equipo.



5. CAJA DE FUSIBLES

Botón On/Off

Permite el encendido y apagado del flujo eléctrico y que de esta manera se puedan accionar las baterías encender las baterías.

BOTONERA DE BATERIAS

Permite el encendido de las baterías.



6.

7. DISPLAY DE VELOCIDAD

El display de velocidad consta de cinco aspectos principales. Su función principal es de permitir la aceleración del equipo, mostrando la velocidad del equipo, se destacan el velocímetro y el botón que permite el encendido del motor.

SPEED

Este indicador muestra la velocidad a la que se está realizando el traslado.

POWER BUTTON

Permite el encendido del motor para poder accionar el equipo.

8. FUNCIONAMIENTO

Para empezar a conducir el equipo:

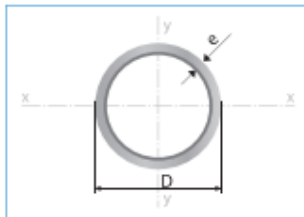
1. Coloque los acoples adecuados ajustando la medida de los brazos a la silla.
2. Encienda la caja de fusibles para poder encender las baterías.
3. Encienda todas las baterías del equipo.
4. Accione el display de velocidad para poder empezar a acelerar

9. NOTA:

Recuerde limitar la velocidad pudiendo ver esta en el velocímetro y de esta manera evitar accidentes debido a inestabilidades del terreno así como volcamientos en el caso de tener que dar giros, además la caja de fusibles muestra la carga de las baterías

ANEXO B: CATÁLOGO DIPAC

Tubería Estructural Redonda



Largo Normal:
6 metros
Recubrimiento:
Negro o Galvanizado
Norma de Calidad:
JIS G 3132, ASTM A 36 y ASTM
A572 Gr 50
Norma de Fabricación:
ASTM A 500/ NTE INEN 2415
Espesores:
Desde 1,40 a 6,00 mm
Observaciones:
Otras dimensiones y largos,
previa consulta

Aplicaciones

- Automotriz y de autopartes: carrocería, guardachoques, tubos de escape, remolques y rodados.
- Agroganadera: maquinaria e implementos agrícolas, avícolas y ganaderos.
- Señalización y vialidad: alumbrado, soportes para señalética.
- Aparatos de gimnasia y fitness.
- Construcción: rejas, portones, columnas, andamios.
- Estructuras: portantes, galpones, invernaderos y naves industriales.

Beneficios

- Duradero: Al construir con acero, asegura que su producto tenga una vida útil, superior a los materiales de construcción convencionales.
- Económico: Se optimiza el uso del material produciéndose ahorro en obras, por facilidad y rapidez de uso y armado ahorra en tiempo y personal.
- Ecológico: Con el uso de acero, se minimiza la utilización de madera y su desecho, por lo que contribuye al medio ambiente.

Designaciones		Área	Peso	Propiedades Estáticas			
Diámetro Exterior	Espesor			Flexión			
D	e	A	P	I	W	i	
pulg.	mm	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm ³	cm	
3/4	19,10	1,40	0,78	0,61	0,30	0,32	0,83
		1,50	0,83	0,65	0,32	0,34	0,82
		1,80	0,96	0,77	0,37	0,39	0,81
		2,00	1,07	0,84	0,39	0,41	0,81
7/8	22,20	1,40	0,92	0,72	0,50	0,45	0,74
		1,50	0,96	0,77	0,53	0,47	0,73
		1,80	1,16	0,91	0,61	0,55	0,72
		2,00	1,27	1,00	0,66	0,59	0,72
1	25,40	1,40	1,06	0,83	0,76	0,60	0,85
		1,50	1,13	0,88	0,81	0,64	0,85
		1,80	1,33	1,05	0,93	0,74	0,84
		2,00	1,47	1,15	1,01	0,80	0,83
1 1/4	31,80	1,40	1,33	1,05	1,54	0,97	1,07
		1,50	1,43	1,12	1,63	1,03	1,07
		1,80	1,69	1,33	1,81	1,20	1,06
		2,00	1,87	1,47	2,08	1,31	1,05
1 1/2	38,10	1,40	1,61	1,27	2,72	1,43	1,30
		1,50	1,72	1,35	2,89	1,52	1,30
		1,80	2,05	1,61	3,39	1,78	1,28
		2,00	2,27	1,78	3,71	1,95	1,28
1 3/4	44,50	1,40	1,89	1,49	4,39	1,98	1,52
		1,50	2,02	1,59	4,67	2,10	1,52
		1,80	2,41	1,89	5,49	2,47	1,51
		2,00	2,67	2,09	6,02	2,71	1,50
1 7/8	47,60	1,40	2,03	1,60	5,44	2,29	1,64
		1,50	2,17	1,71	5,79	2,43	1,63
		1,80	2,59	2,03	6,81	2,86	1,62
		2,00	2,87	2,25	7,47	3,14	1,61
2	50,80	1,40	2,11	1,71	6,63	2,61	1,75
		1,50	2,32	1,82	7,06	2,78	1,74
		1,80	2,77	2,18	8,33	3,28	1,73
		2,00	3,07	2,41	9,14	3,60	1,73
2 3/8	60,30	1,40	4,51	3,54	12,82	5,09	1,89
		1,50	5,88	4,62	16,22	6,39	1,66
		1,80	2,77	2,18	12,00	3,98	2,08
		1,80	3,31	2,60	14,18	4,70	2,07
2 1/2	63,50	1,40	3,68	2,88	15,80	5,17	2,06
		1,50	5,40	4,24	22,25	7,38	2,03
		1,80	7,08	5,56	28,21	9,35	2,00
		1,80	2,92	2,29	14,05	4,42	2,19
3	76,20	1,50	3,49	2,74	16,62	5,23	2,18
		1,80	3,86	3,03	18,29	5,76	2,18
		1,80	5,70	4,48	26,15	8,24	2,14
		1,80	7,48	5,87	33,24	10,47	2,11
4	101,60	1,50	3,52	2,76	24,56	6,45	2,84
		1,80	4,21	3,30	29,13	7,65	2,83
		1,80	4,86	3,66	32,11	8,43	2,82
		1,80	6,90	5,42	46,29	12,15	2,59
5	127,00	1,80	9,07	7,12	59,30	15,56	2,56
		1,80	11,16	8,78	71,22	18,69	2,52
		2,00	6,26	4,91	77,63	15,28	3,52
		2,00	9,29	7,29	113,04	22,25	3,49
6	152,40	2,00	12,26	9,63	146,28	28,80	3,45
		2,00	15,17	11,91	177,47	34,93	3,42
		2,00	18,02	14,15	206,68	40,68	3,39
		2,00	7,85	6,17	153,44	24,16	4,42
6 5/8	168,30	2,00	11,69	9,17	224,75	35,39	4,39
		2,00	15,46	12,13	292,61	46,08	4,35
		2,00	19,16	15,04	357,14	56,24	4,32
		2,00	22,81	17,90	418,44	65,90	4,28
6 3/4	184,20	2,00	14,08	11,05	393,01	51,58	5,28
		2,00	18,65	14,64	513,73	67,42	5,25
		2,00	23,15	18,18	629,54	82,62	5,21
		2,00	27,80	21,66	740,57	97,19	5,18
7	200,10	2,00	15,58	12,23	532,28	63,25	5,85
		2,00	20,65	16,21	697,09	82,84	5,81
		2,00	25,65	20,14	855,85	101,70	5,78
		2,00	30,59	24,02	1008,69	119,87	5,74

ANEXO C: PLANOS