



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA HANDBIKE ELÉCTRICO ACOPLABLE A UNA
SILLA DE RUEDAS MANUAL**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Automotriz

**AUTORES: BRANDON ADRIAN SUNTAXI GUALUTUÑA
JHONN JAIRO ANDRADE ENCALADA**

TUTOR: JHONNY JAVIER BARRERA JARAMILLO

Quito - Ecuador

2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Brandon Adrian Sntaxi Gualutuña, con documento de identificación N° 1725678740 y Jhonn Jairo Andrade Encalada con documento de identificación N° 1752712446 manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 19 de febrero de 2024

Atentamente,



Brandon Adrian Sntaxi Gualutuña
1725678740



Jhonn Jairo Andrade Encalada
1752712446

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Brandon Adrian Suntaxi Gualutuña con documento de identificación No. 1725678740 y Jhonn Jairo Andrade Encalada con documento de identificación No. 1752712446, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Construcción de un sistema handbike eléctrico acoplable a una silla de ruedas manual”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingenieros Automotrices, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana

Quito, 19 de febrero de 2024

Atentamente,



Brandon Adrian Suntaxi Gualutuña
1725678740



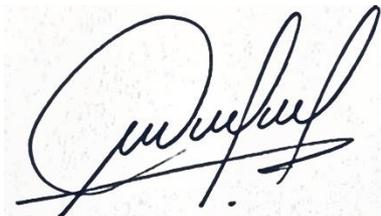
Jhonn Jairo Andrade Encalada
1752712446

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Jhonny Javier Barrera Jaramillo con documento de identificación N° 1400378475, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA HANDBIKE ELÉCTRICO ACOPLABLE A UNA SILLA DE RUEDAS MANUAL, realizado por Brandon Adrian Suntaxi Gualutuña con documento de identificación No. 1725678740 y Jhonn Jairo Andrade Encalada con documento de identificación No. 1752712446, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción: Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 19 de febrero del 2024

Atentamente,



Ing. Jhonny Javier Barrera Jaramillo, MsC

1400378475

DEDICATORIA

Dedico el presente proyecto a la memoria eterna de mi querido amigo Ricardo Guajala. Su ausencia deja un vacío imposible de llenar, pero su espíritu perdura en cada logro alcanzado. Ricardo fue una fuente inagotable de inspiración, siempre alentándome a esforzarme por la excelencia.

En su honor, he perseverado a lo largo de este viaje académico, recordando sus palabras alentadoras y su indomable espíritu. Aunque ya no esté físicamente presente, su impacto perdura en cada página de esta tesis. La amistad y el apoyo que compartimos son la fuerza motriz detrás de este logro, y dedico este trabajo a su memoria, agradecido por el tiempo que compartimos y el legado que dejó en mi vida.

Jhon Jairo Andrade Encalada

Dedico el presente proyecto a la memoria de nuestro querido amigo y compañero Ricardo Guajala, quien iluminó cada rincón de nuestra universidad con su presencia cálida y su espíritu amigable. Desde el primer semestre, Ricardo formó parte integral de nuestro grupo de amistad, compartiendo risas, desafíos académicos y momentos que quedarán grabados en el corazón de cada uno de nosotros. Ricardo fue más que un compañero; fue un amigo leal y un apoyo constante en nuestras travesías universitarias. Su pasión por el aprendizaje, su generosidad y su sentido del humor contagioso dejaron una marca imborrable en cada uno de nosotros. Recordaremos sus risas resonando en los pasillos, sus palabras alentadoras en momentos difíciles y su capacidad para unirnos como verdadera familia. Ricardo fue más que un compañero; fue un amigo leal y un apoyo

A través de los años, compartimos no solo aulas y exámenes, sino también sueños, triunfos y desafíos. Cada logro alcanzado lleva la huella de Ricardo, quien celebraba nuestras victorias como si fueran propias.

En su memoria, llevaremos adelante el legado de amistad, camaradería y dedicación que nos regaló. Que su luz siga guiándonos en nuestros caminos individuales, recordándonos la importancia de valorar cada momento compartido y de ser auténticos en nuestras relaciones. Siempre serás parte de nuestro viaje universitario. Tu ausencia deja un vacío, pero también nos inspira a vivir plenamente, tal como tú lo hiciste.

Descansa en paz, querido amigo.

Brandon Adrian Suntaxi Gualutuña

AGRADECIMIENTO

Gracias infinitas a mis padres, por su amor incondicional y su apoyo moral. Su fe en mí, incluso en los momentos más difíciles, ha sido el pilar de este logro. Sin ustedes, todo esto no habría sido posible. Su amor y sacrificio han sido la luz que guio mi camino a través de este viaje académico.

Quisiera expresar mi más profundo agradecimiento a mi director de carrera, el Ing. Ángel Paucar. Su experiencia, comprensión y paciencia contribuyeron a mi experiencia en el complejo y gratificante camino de la investigación. Su guía constante y su fe inquebrantable en mis habilidades me han motivado a alcanzar alturas que nunca imaginé. No tengo palabras para expresar mi gratitud por su inmenso apoyo durante este viaje.

Al Ing. Jhonny Barrera por su guía como tutor, tiempo dedicado, orientaciones, y empatía durante el proceso de elaboración de la tesis.

A la universidad Politécnica Salesiana por abrir las puertas para llevar adelante la investigación.

Quisiera expresar mi profundo agradecimiento a un grupo especial de personas que han sido fundamentales en mi viaje académico: mis amigos de la universidad. Desde el primer semestre hasta este momento, su apoyo inquebrantable ha sido una fuente constante de fortaleza y alegría.

Juntos hemos superado exámenes, celebrado éxitos y apoyado mutuamente en los momentos difíciles. Su amistad ha sido el componente vital de estos años universitarios, y estoy agradecido por cada risa compartida, cada consejo sincero y cada recuerdo precioso.

Con gratitud,

Jhonn Jairo Andrade Encalada

Agradezco a nuestros queridos amigos y padres, quienes han sido nuestra red de apoyo fuera de las aulas, agradecemos por su paciencia, aliento constante. Su respaldo ha sido invaluable, y este logro no solo es nuestro, sino también de cada uno de ustedes que ha contribuido a nuestro desarrollo y éxito.

Al ingeniero Jhonny Barrera, nuestro tutor de tesis, le extendemos nuestro más sincero agradecimiento. Su guía experta y dedicación han sido fundamentales en la culminación de este proyecto. Nos ha inspirado a superar desafíos, a aprender más allá de las aulas y a alcanzar metas que parecían inalcanzables.

Al ingeniero Ángel Paucar, nuestro director de carrera, le agradecemos por su liderazgo inspirador y por crear un ambiente educativo que fomenta el crecimiento y la excelencia. Su compromiso con nuestra formación académica ha sido evidente en cada paso de nuestro recorrido.

Este logro no solo representa el final de una etapa, sino también el comienzo de nuevas oportunidades y desafíos. Gracias a todos ustedes, hemos adquirido no solo conocimientos técnicos, sino también lecciones de vida que llevaremos con nosotros en nuestros futuros emprendimientos.

Agradecemos sinceramente a cada persona que ha sido parte de nuestro viaje académico. Sus contribuciones han dejado una marca imborrable en nuestra experiencia universitaria. Nos sentimos afortunados de haber compartido este trayecto con personas tan excepcionales. Con aprecio y gratitud,

Brandon Adrian Suntaxi Gualutuña

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
PROBLEMA	4
OBJETIVO GENERAL.	4
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	5
MARCO TEÓRICO	5
TIPOS DE SILLAS DE RUEDAS	6
ESTRUCTURA DE LA SILLA DE RUEDAS.....	8
USO DE LA SILLA DE RUEDAS.....	9
CRITERIOS DE SEGURIDAD Y ERGONOMÍA.....	9
CAPÍTULO 1	11
1. ANÁLISIS SITUACIONAL.....	11
1.1. ANTECEDENTES	11
CAPÍTULO 2	14
2. DISEÑO DEL SISTEMA HANDBIKE.....	14
2.1 CRITERIOS DE DESEMPEÑO	14
2.2 COMPONENTES DEL SISTEMA HANDBIKE.....	15
2.3 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA	24
2.4 MODELAMIENTO DE LOS COMPONENTES	29
2.5 CONSTRUCCIÓN	33
CAPÍTULO 3	36
3. IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DE DESEMPEÑO.....	36
3.1 PRUEBAS DE RENDIMIENTO	36
3.2 PRUEBAS DE VELOCIDAD	38
3.3 PRUEBAS DE AUTONOMÍA	42
CAPÍTULO 4	44
4. ANÁLISIS ECONÓMICO.....	44
4.2 ALTERNATIVAS COMERCIALES	44
4.3 CALIDAD/PRECIO	46
CONCLUSIONES.....	47
RECOMENDACIONES	48
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49
ANEXOS.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Silla de ruedas manual.	6
Figura 2: Sillas de Ruedas manuales comunes.....	7
Figura 3: Silla de ruedas eléctrica.	7
Figura 1.1: Handbikes del mercado común.....	12
Figura 2.1: Conjunto de baterías.	16
Figura 2.2: Motor eléctrico brushless para scooter 300w	17
Figura 2.3: Sistema de acelerador	19
Figura 2.4: Sistema de freno tipo tambor.....	21
Figura 2.5: Conexiones del controlador	22
Figura 2.6: Controlador.....	23
Figura 2.7: Diagrama de reparto de pesos.....	25
Figura 2.8: Diagrama de pesos con inclinación	26
Figura 2.9: Diagrama de reparto de pesos segunda parte.....	26
Figura 2.10: Dimensión entre silla de ruedas y handbike.	27
Figura 2.11: Diagrama para ubicación de bases de baterías	28
Figura 2.12: Diagrama con datos completos para las bases de las baterías.	29
Figura 2.13: Modelamiento de la estructura del sistema handbike	30
Figura 2.14: Modelamiento fase estructural.....	31
Figura 2.15: Modelamiento para la zona de baterías.	31
Figura 2.16: Análisis de esfuerzos de la estructura.....	32
Figura 2.17: Conexiones de componentes del sistema handbike.	33
Figura 2.18: Bases para la caja de baterías.....	34
Figura 2.19: Ubicación de la estructura en la silla de ruedas	34
Figura 2.20: Sistema de Suspensión de horquilla hidráulica modificada	35
Figura 2.21: Bases para acoplamiento del motor.	35
Figura 3.1: Handbike ensamblado.....	36
Figura 3.2: Terreno de prueba – Adoquinado.	39
Figura 3.3: Terreno de prueba – Empedrado.....	39
Figura 3.4: Terreno de Prueba – Pavimento Plano	40
Figura 3.5: Terreno de Prueba – Asfalto	40

Figura 3.6: Visualización de grafico de tabla 3.1	41
Figura 3.7: Terreno empinado	42
Figura 4.1: Handbike inteligente ligero y resistente al agua	45
Figura 4.2: Handbike ultraligera	46

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Criterios de diseño.....	15
Tabla 3.1: Tabla de rendimiento de velocidad	41
Tabla 4.1: Costos de fabricación	44

RESUMEN

El presente proyecto se centra en la construcción de un handbike eléctrico diseñado específicamente para acoplarse a sillas de ruedas manuales, ofreciendo una solución innovadora para mejorar la movilidad de personas con discapacidad.

En términos de diseño, se llevó a cabo un análisis técnico de los elementos y componentes esenciales para ofrecer una solución de alto nivel de rendimiento a un costo considerablemente más bajo en comparación con otros handbikes de uso comercial. Uno de los puntos distintivos del handbike es su resistencia estructural, misma que fue concebida para cumplir con los estándares de uso diario sin comprometer la durabilidad ni el desempeño de sus componentes. Este enfoque no solo garantiza la seguridad del usuario, sino que también contribuye a mantener el costo del mantenimiento del sistema en un rango accesible.

Se realizaron varias pruebas para evaluar el desempeño del handbike eléctrico y validar aspectos como la tracción, estructura, la estabilidad y la ergonomía. Las pruebas incluyeron evaluaciones de rendimiento en terrenos variados, desde superficies empedradas hasta terrenos más irregulares, con el objetivo de garantizar la adaptabilidad del handbike a entornos del mundo real. También se realizaron pruebas de velocidad en rutas sobre diferentes terrenos como adoquinado, empedrado, cemento plano y asfalto, con cargas variables para evaluar la velocidad y la estabilidad en situaciones cotidianas. Una de las características más importantes de la solución diseñada es su autonomía, ya que permite su uso prolongado con una sola carga de batería. Las pruebas realizadas permitieron validar la eficacia y la resistencia del handbike eléctrico, asegurando un producto que cumple con los estándares de calidad y rendimiento esperados por los usuarios finales.

El handbike construido representa una novedosa solución de movilidad eléctrica para personas con discapacidad en sus inferiores extremidades, un equilibrio óptimo entre precio y calidad.

Palabras Claves: Sistema Handbike, motor brushless, silla de ruedas, controlador brushless

ABSTRACT

This project focuses on the construction of an electric handbike designed specifically to attach to manual wheelchairs, offering an innovative solution to improve the mobility of people with disabilities.

In terms of design, a technical analysis of the essential elements and components was carried out to offer a high level of performance solution at a considerably lower cost compared to other handbikes for commercial use. One of the distinctive points of the handbike is its structural resistance, which was designed to meet the standards of daily use without compromising the durability or performance of its components. This approach not only ensures user safety but also helps keep the cost of system maintenance within an affordable range.

Several tests were carried out to evaluate the performance of the electric handbike and validate aspects such as traction, structure, stability and ergonomics. Testing included performance evaluations on varied terrain, from cobbled surfaces to more uneven terrain, with the aim of ensuring the handbike's adaptability to real-world environments. Speed tests were also carried out on routes on different terrains such as cobblestone, cobblestone, flat cement and asphalt, with variable loads to evaluate speed and stability in everyday situations. One of the most important characteristics of the designed solution is its autonomy, since it allows prolonged use with a single battery charge. The tests carried out allowed us to validate the effectiveness and resistance of the electric handbike, ensuring a product that meets the quality and performance standards expected by end users.

The built handbike represents a novel electric mobility solution for people with disabilities in their lower extremities, an optimal balance between price and quality.

Keywords: Handbike system, brushless motor, wheelchair, brushless controller

INTRODUCCIÓN

Debido a su impacto social, en los últimos años, se han desarrollado diversos estudios sobre los sistemas handbikes orientados a mejorar la movilidad y calidad de vida de las personas que usan sillas de ruedas, y es que la dependencia exclusiva de un vehículo que requiere de la fuerza de los brazos siempre ha sido considerada un obstáculo significativo para la autonomía y participación de las personas con discapacidades en sus extremidades inferiores al querer realizar actividades cotidianas.

El presente documento hace referencia al desarrollo de un sistema handbike acoplable a una silla de ruedas manual. En el primer capítulo se explica el contexto y los antecedentes del proyecto, con el fin de establecer la demanda actual de movilidad asistida, la evolución histórica de dispositivos análogos, la estructura de las sillas de ruedas manuales y criterios de seguridad y ergonomía.

En el segundo capítulo se documenta el diseño del sistema, abordando la ingeniería del handbike eléctrico. Se incluyen aspectos técnicos como la selección de componentes, integración con la silla de ruedas manual y otros elementos esenciales para el desarrollo del sistema.

La implementación y las pruebas de desempeño se registran en el tercer capítulo. El sistema construido fue sometido a varias pruebas para evaluar su desempeño en diversas condiciones. Los resultados obtenidos se analizan en relación con los objetivos establecidos, proporcionando una visión completa de la ejecución del proyecto.

En el último capítulo se realiza un análisis económico centrado en los costos asociados con el diseño y la implementación del sistema, así como las consideraciones de mercado. En conjunto, estos capítulos ofrecen un análisis integral del proceso de construcción del sistema handbike eléctrico, contribuyendo al avance de la movilidad asistida y mejorando la calidad de vida de los usuarios de sillas de ruedas manuales.

PROBLEMA

Las personas con discapacidades en sus extremidades inferiores enfrentan desafíos significativos al desplazarse, ya sea por largas distancias o por terrenos difíciles. Los sistemas handbikes han revolucionado la movilidad y la independencia de estas personas. Estos dispositivos motorizados, están diseñados para ofrecer una solución eficiente y efectiva para aquellas personas que enfrentan limitaciones de movilidad. Las sillas de ruedas manuales, equipadas con sistemas handbikes, han transformado la forma en que las personas con discapacidad se movilizan, facilitando su desplazamiento, superando obstáculos y ampliando sus posibilidades. Estos dispositivos están impulsados generalmente por motores eléctricos y permiten a los usuarios transformar sus sillas de ruedas en vehículos motorizados en lugar de usar la fuerza de los brazos, brindando de esta forma una mayor velocidad y reduciendo el esfuerzo físico requerido.

El objetivo del presente proyecto es diseñar y desarrollar un sistema handbike eléctrico acoplable a las sillas de ruedas manuales existentes, que permita a los usuarios mejorar su movilidad y comodidad, proporcionando una solución efectiva y accesible para su uso en determinadas rutas de uso cotidiano. Con esta propuesta, se busca brindar una herramienta que les permita a las personas con discapacidad en las extremidades inferiores desplazarse de manera más eficiente, superando barreras y mejorando su calidad de vida. El grupo beneficiario de este proyecto está conformado por personas con discapacidad en las extremidades inferiores que dependen de una silla de ruedas manual para su movilidad diaria. Según el último registro de estadísticas de discapacidad realizadas, en la provincia de Pichincha existen alrededor de 76 518 (Setenta y seis mil quinientos dieciocho) habitantes poseen un tipo de discapacidad (Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades-CONADIS, 2022). Este grupo objetivo abarca una amplia variedad de discapacidades, como paraplejia, tetraplejia, amputaciones y otras condiciones que afectan la funcionalidad de las extremidades inferiores.

Objetivo General.

Construir un handbike acoplable a una silla de ruedas manual, impulsado por un motor eléctrico que mejore las condiciones de movilidad de las personas con discapacidad en las extremidades inferiores y favorezca a su calidad de vida.

Objetivos Específicos.

- Realizar un estudio inicial sobre los componentes de las sillas de ruedas manuales más utilizadas por personas con discapacidad en las extremidades inferiores en el Distrito Metropolitano de Quito.
- Diseñar los componentes del manillar usando herramientas CAD considerando los factores de seguridad, estabilidad y adaptabilidad a una silla de ruedas tradicional.
- Realizar pruebas de desempeño del handbike eléctrico para verificar su operación y funcionalidad en escenarios específicos.
- Realizar un análisis económico sobre los costos de fabricación de los dispositivos adaptables para sillas de ruedas eléctricos.

MARCO TEÓRICO

SILLAS DE RUEDAS. -

Las sillas de ruedas son un tipo de dispositivo de asistencia que ayuda a las personas con movilidad limitada debido a discapacidades o deficiencias. Sirven como vehículos individuales que permiten desplazarse a las personas que han perdido permanentemente la capacidad de moverse ya sea parcial o totalmente. Es importante elegir una silla de ruedas adecuada al nivel de discapacidad. De este modo, las sillas de ruedas mejoran la movilidad de los pacientes que no pueden andar o moverse de forma independiente con otros dispositivos, fomentando su autonomía e integración social (Gorgues, 2005).

La historia de la silla de ruedas manual es intrincada y polifacética, influida por diversos factores culturales, sociales y tecnológicos. Las civilizaciones antiguas utilizaban las sillas de ruedas principalmente para el transporte y la ayuda a la movilidad, pero no fue hasta el siglo XIX cuando la silla de ruedas moderna, tal como la conocemos hoy, empezó a tomar forma. En 1869 se registró la primera patente conocida de una silla de ruedas autopulsada, lo que marcó un hito importante en la historia de la silla de ruedas manual.

Figura 1: Silla de ruedas manual.



Fuente: Insumos médicos

A lo largo de los años, el diseño y la funcionalidad de la silla de ruedas manual han seguido evolucionando, gracias a las valiosas aportaciones de personas con discapacidad y profesionales sanitarios. Hoy en día, la silla de ruedas manual es una ayuda esencial para la movilidad de millones de personas en todo el mundo, y su historia es un testimonio de la resistencia y el ingenio del espíritu humano.

TIPOS DE SILLAS DE RUEDAS

Silla de ruedas manual no autopropulsable no plegable o rígida

Es una silla de ruedas manual controlada por un asistente. Tiene un armazón robusto y está equipada con reposabrazos, reposapiés, asiento y respaldo ajustables que pueden adaptarse a las características antropométricas del usuario, así como con un sistema de frenado. El asiento y el respaldo son de material impermeable e ignífugo, aunque la silla de ruedas no es plegable, en algunos modelos se pueden extraer varios accesorios, como el respaldo, y llevar un asiento con inodoro incorporado.

Hay dos tipos de sillas de ruedas disponibles:

- Sillas de ruedas con cuatro ruedas giratorias pequeñas.
- Sillas de ruedas con dos ruedas delanteras giratorias y ruedas traseras más grandes en un solo eje de rotación.

Las ruedas pueden ser neumáticas o macizas. El asiento y el respaldo son de material impermeable e ignífugo. Esta silla de ruedas puede tener dos ruedas de dirección delanteras y dos ruedas traseras más grandes o cuatro ruedas pequeñas, normalmente neumáticas. El mecanismo de plegado más común es el tipo tijera, aunque también existen otros tipos, como el plegado tipo paraguas.

Figura 2: Sillas de Ruedas manuales comunes.



Fuente: Guía descriptiva de orto prótesis.

Silla de ruedas motorizada (normalmente dos motores) alimentada por baterías de gel.

La potencia de la batería determina la autonomía y las pendientes que puede subir. La dirección se controla mediante una palanca de control proporcional ("joystick"), normalmente accionada a mano, aunque existen otros tipos de controles. También incluye reposabrazos, reposapiés, asiento y respaldo ajustables a las características antropométricas de cada usuario. El asiento y el respaldo suelen ser de material impermeable e ignífugo.

Figura 3: Silla de ruedas eléctrica.



Fuente: Guía descriptiva de orto prótesis.

El peso de esta silla de ruedas suele superar los 45 kg. La mayoría de los modelos se pueden desmontar o plegar (Ministerio de Sanidad, 2011).

Se realizaron investigaciones como (Campese et al., 2016) donde incluye sillas de ruedas manuales con nuevos amortiguadores fabricados en diferentes materiales como poliamida, fibra de carbono y aluminio. También hay sillas de ruedas motorizadas, sillas de ruedas para subir escaleras y scooters. Además, existen patentes relacionadas con la tecnología de sillas de ruedas, como un dispositivo que permite a una silla de ruedas eléctrica cruzar obstáculos y un diseño de silla de ruedas en forma de estrella. Estos productos y patentes tienen como objetivo mejorar la movilidad personal y la accesibilidad de las personas con discapacidad.

ESTRUCTURA DE LA SILLA DE RUEDAS

Sillas de ruedas manuales.- La silla de ruedas manual básica consta de un armazón, asiento y respaldo, reposabrazos, reposapiés, ruedas delanteras, ruedas traseras y frenos. Las ruedas pueden ser giratorias o fijas. Las ruedas giratorias permiten cambiar de dirección, mientras que las fijas no, por lo que al menos un par de ruedas deben ser giratorias.

Además, las ruedas pueden ser pequeñas delante y detrás, o las ruedas traseras pueden ser más grandes (medianas o grandes). En las sillas de ruedas autopropulsables, las ruedas traseras serán grandes e incluirán llantas para que el usuario pueda impulsarse. Tanto los reposabrazos como los reposapiés pueden ajustarse en altura y retirarse. El modelo básico de silla de ruedas permite adaptar distintos accesorios en función de las necesidades del usuario.

Sillas de ruedas con motor y dirección eléctricos.- Las sillas de ruedas eléctricas están diseñadas para mejorar la movilidad de las personas con graves limitaciones funcionales en su sistema musculoesquelético debidas a enfermedades, deformidades o accidentes. Estas personas tienen una incapacidad permanente para caminar de forma independiente y también carecen de la capacidad funcional para propulsar sillas de ruedas manuales. Sin embargo, poseen suficientes capacidades visuales, mentales y de control para manejar sillas de ruedas eléctricas sin que ello suponga un riesgo para su propia seguridad o la de los demás.

La silla de ruedas eléctrica básica consta de un armazón, asiento y respaldo, reposabrazos, reposapiés, ruedas delanteras, ruedas traseras, uno o dos motores, baterías y un sistema de control eléctrico. Las ruedas de dirección ya sean delanteras o traseras, deben ser pivotantes para permitir una maniobra suave. Los reposabrazos y reposapiés deben ser regulables en altura y desmontables o plegables. El modelo básico de silla de ruedas eléctrica permite la

adaptación de diversos accesorios en función de las necesidades específicas del usuario (Ministerio de Sanidad, 2011).

USO DE LA SILLA DE RUEDAS

Sillas de ruedas manuales.- Las sillas de ruedas manuales sirven para facilitar el traslado de personas con dificultad o imposibilidad para la deambulaci3n. Estas sillas de ruedas han evolucionado mucho en los 3ltimos a3os y actualmente existen diversos modelos en el mercado, pero se distinguen, principalmente las que tienen chasis plegable y las que lo tienen fijo.

Sillas de ruedas con motor y direcci3n el3ctricas.- Las sillas de ruedas el3ctricas est3n dise3adas para mejorar la movilidad de las personas con graves limitaciones funcionales en su sistema musculoesquel3tico debidas a enfermedades, deformidades o accidentes. Estas personas tienen una incapacidad permanente para caminar de forma independiente y tambi3n carecen de la capacidad funcional para propulsar sillas de ruedas manuales. Sin embargo, poseen suficientes capacidades visuales, mentales y de control para manejar sillas de ruedas el3ctricas sin que ello suponga un riesgo para su propia seguridad o la de los dem3s (Ministerio de Sanidad, 2011).

CRITERIOS DE SEGURIDAD Y ERGONOMÍA

Sillas de ruedas manuales.- Es necesario que las dimensiones de la silla de ruedas se ajusten a las caracter3sticas antropom3tricas del usuario y que disponga de reposapi3s y reposabrazos regulables para favorecer la estabilidad postural y la distribuci3n uniforme de la presi3n.

Para aumentar la comodidad, es aconsejable que el asiento est3 acolchado. Si es necesario realizar transferencias laterales, los reposabrazos y reposapi3s deben ser abatibles o desmontables.

Para su uso en exteriores, es necesario que las ruedas delanteras sean giratorias y las traseras m3s grandes, principalmente neum3ticas. Cuando las cuatro ruedas son iguales y de peque3o tama3o, y todas pueden ser giratorias, la silla s3lo se utiliza para interiores, ya que no puede deslizarse por terrenos irregulares. Dado que no se puede plegar, se necesita espacio suficiente tanto en la residencia del usuario como en el veh3culo para guardarla o transportarla.

Silla de ruedas de dirección y motor eléctrico.- Es esencial disponer de espacio de almacenamiento en casa y en el vehículo para facilitar el transporte, ya que plegar o desmontar muchos modelos no es una tarea sencilla ni rápida, y algunas piezas son pesadas de manejar. En algunos casos, puede ser necesario un asiento y un respaldo personalizados o modulares para garantizar una postura adecuada, por lo que se recomienda que la silla de ruedas ofrezca adaptabilidad para estos elementos. Del mismo modo, los reposabrazos y reposapiés deben ser abatibles o desmontables para permitir la transferencia lateral, y es necesario que estos elementos sean regulables en altura para proporcionar un buen control postural.

Hay modelos disponibles que pueden controlarse con las manos, la cabeza y los pies de la persona afectada, requiriendo muy poca fuerza y amplitud de movimiento para su control. Es necesario que el usuario aprenda a manejar la silla de ruedas (Ministerio de Sanidad, 2011).

CAPÍTULO 1

1. ANÁLISIS SITUACIONAL

En el presente capítulo se analizan aspectos de la importancia y el diseño de las sillas de ruedas, con la finalidad de establecer un punto de partida para la construcción del sistema handbike. La idea es comprender la estructura inherente a las sillas de ruedas manuales, entendiendo su configuración y los elementos de seguridad y ergonomía, para salvaguardar la integridad y asegurar la comodidad del usuario. Adicionalmente se delinearán los métodos y enfoques metodológicos empleados para la recopilación y análisis de datos.

1.1. Antecedentes

Las sillas de ruedas forman parte de las ayudas técnicas, es decir, de los dispositivos físicos de aplicación que posibilitan o mejoran la realización de actividades del aparato locomotor mermadas por deficiencias, discapacidades o minusvalías de tipo parcial o total (Gorgues, 2005).

En el campo de la movilidad y asistencia para personas con discapacidad en las extremidades inferiores, los sistemas handbikes han demostrado ser una solución efectiva y versátil. Estos dispositivos, diseñados para acoplarse a sillas de ruedas manuales, brindan una alternativa motorizada para propulsar la silla de ruedas, permitiendo a los usuarios desplazarse con mayor eficiencia y comodidad. En esta introducción, exploraremos de manera técnica los distintos tipos de handbikes disponibles en el mercado, destacando sus características, ventajas y aplicaciones específicas.

En Ecuador se destaca cierto porcentaje que usa silla de ruedas que buscan insertarse en el campo laboral así mismo empresas no los unen porque a su perspectiva tendrían más gastos, pero recientemente un estudio hecho en el país (San Antonio et al., 2015) se plantea que mejorar las capacidades de las sillas de ruedas resultará más eficiente y disminuirá la inversión que debe realizar la empresa.

Los handbikes se pueden clasificar en diferentes categorías según sus características de diseño y uso. Un tipo común es el handbike de tracción directa, en el cual el usuario impulsa las ruedas de la silla de ruedas directamente a través de un sistema de manivela o manillar.

Estos handbikes generalmente requieren menos componentes adicionales y son más livianos, lo que los hace ideales para su uso en entornos urbanos y terrenos planos.

En el caso de un estudio de mercado internacional (Camacho Suárez & Mario Mateus, 2020) para un proyecto de un prototipo encontramos estos tipos de handbikes con sus respectivos precios en el cual se describen tres tipos de handbikes: manuales, eléctricos e híbridos. Los handbikes manuales son propulsados por los brazos del usuario y tienen un costo que oscila entre €2.000 y €3.500 en el mercado internacional. Los handbikes eléctricos funcionan con un motor eléctrico y pueden alcanzar velocidades de hasta 25km/h, y tienen un costo que oscila entre €3.000 y €4.500 en el mercado internacional. Por último, los handbikes híbridos permiten al usuario cambiar entre un uso eléctrico y uno manual, incluso con la opción de pedaleo asistido, y tienen un costo en el mercado internacional entre €5.000 y €6.000.

Figura 1.1: Handbikes del mercado común.



Fuente: Ortopediamimas tienda en línea

Estos sistemas, diseñados para acoplarse a las sillas de ruedas, ha emergido como un accesorio destacado para sillas de ruedas, fácilmente acoplable a la parte delantera de la silla. Diseñado tanto para personas activas amantes de la velocidad como para aquellos que buscan mayor comodidad en sus desplazamientos, este complemento transforma por completo la percepción de la silla de ruedas. Proporciona una experiencia de conducción impresionante y supera cualquier obstáculo en el camino. Los elogios hacia este accesorio son evidentes, y se alienta a aquellos que tengan la oportunidad de adquirirlo o probarlo a no dudar en hacerlo(Ortopedia Mimas, 2017).

(Blasco-Giménez & Cruzado, 2021) menciona que sea ha realizado un estudio en España donde se obtuvieron datos sobre la relación de uso en la dependencia de estos tipos de dispositivos el cual del 100% de los sujetos encuestados reconoció utilizar uno de estos dispositivos siendo el sistema handbike encabezando la encuesta por ser el más utilizado con un 40,9% en comparación con su contraparte que es la silla de ruedas eléctrica con un 31,2% por ultimo tenemos el resto con un 28% que utiliza distintos productos que son los convencionales como muletas, bastones entre otras. Dentro del grupo que utiliza el sistema handbike tenemos un 67,6% tiene una dependencia leve y el resto no posee dependencia total, en cambio en el caso de las sillas eléctricas encontramos que el 77% de las personas ostentan una dependencia total. Estos hallazgos resaltan la relevancia del sistema handbike como una opción preferida para las personas con discapacidad que buscan una mayor independencia en su movilidad. El hecho de que un porcentaje significativo de usuarios con dependencia leve utilice el sistema handbike destaca su utilidad y beneficios para mejorar la calidad de vida y la autonomía de las personas con discapacidad en la vida diaria.

Estudios demuestran que podrían mejorarse las sillas de ruedas con sistema embebidos como lo demuestra (Cifuentes et al., 2016) desarrollando un sistema integrado completo que permita al usuario de la silla de ruedas moverse de la misma forma que suele hacerlo por medio de los controles clásicos tipo palanca de una silla de ruedas eléctrica comercial. Además, el sistema debe prestar algunas funciones en línea como el monitoreo de funciones vitales y movimiento semiautomático de la silla de ruedas en un ambiente conocido.

CAPÍTULO 2

2. DISEÑO DEL SISTEMA HANDBIKE

En este capítulo se aborda el diseño del sistema handbike eléctrico acoplable. Se examina la ingeniería del sistema, incluyendo la selección de los componentes y las tecnologías relacionadas. Se determina la adaptabilidad a las sillas de ruedas manuales y las consideraciones ergonómicas. Adicionalmente se analizan los parámetros para optimizar rendimiento, sostenibilidad y funcionalidad del handbike.

2.1 Criterios de desempeño

El dimensionamiento bajo criterios de desempeño es crucial al acoplar un sistema handbike eléctrico a una silla de ruedas manual. Este proceso implica determinar las especificaciones y dimensiones adecuadas del sistema para garantizar un funcionamiento eficiente y seguro.:

- **Compatibilidad con la silla de ruedas manual:** Asegurar que el handbike eléctrico sea compatible con la silla de ruedas manual en términos de dimensiones y fijaciones es esencial. Debe integrarse de manera segura y estable sin comprometer la integridad estructural de la silla de ruedas.
- **Desempeño y eficiencia:** El dimensionamiento adecuado garantiza un rendimiento óptimo del handbike eléctrico. Esto incluye la potencia del motor, la capacidad de la batería y otros componentes para asegurar un desplazamiento suave y eficiente, especialmente en terrenos variados.
- **Seguridad del usuario:** Dimensionar correctamente el sistema contribuye a la seguridad del usuario. Un acople inadecuado o un sistema mal dimensionado pueden aumentar el riesgo de accidentes o lesiones. Es crucial considerar la estabilidad, la resistencia y otros aspectos de seguridad durante el dimensionamiento.
- **Maniobrabilidad y control:** El handbike eléctrico debe ser dimensionado de manera que permita una fácil maniobrabilidad y control por parte del usuario. Esto es esencial para que el usuario pueda operar el sistema de manera cómoda y segura, incluso en espacios reducidos.
- **Autonomía de la batería:** Un dimensionamiento adecuado de la estructura juntamente con el peso del ocupante es esencial para la selección de una batería con la capacidad

suficiente para proporcionar la autonomía necesaria. Esto asegura que el usuario pueda realizar trayectos más largos sin quedarse sin energía.

- **Facilidad de instalación y desmontaje:** El handbike eléctrico se diseñará para que sea de fácil instalación y desmontaje en la silla de ruedas manual. Esto es importante para la comodidad del usuario y para permitir la versatilidad en el uso del sistema.
- **Durabilidad y resistencia:** Los materiales y componentes deben ser lo suficientemente robustos para soportar el uso diario y resistir condiciones adversas.

Tabla 1: Criterios de diseño.

Criterios generales	Adecuación al usuario	Dimensiones, peso y necesidades clínicas
	Adecuación al uso	Actividades, profesión y aficiones
	Adecuación al entorno	Lugares de uso, interiores, exteriores y uso mixto
Criterios específicos	Seguridad	Soportar el peso, ser estable y tener un sistema antivuelco
	Confort sentado	• Muchas horas
		• Dimensiones, acabados y materiales de la silla
	Precio	Es muy importante comprobar la relación calidad/precio
	Durabilidad	Uso normal: 4 años
	Estética	Mejor aceptación de la silla
	Facilidad de conducción	Maniobrabilidad, agilidad y accesibilidad
	Facilidad de plegado y transporte	• Acciones sencillas
		• De poco peso y mejor transporte
	Regulabilidad	Sistemas de regulación sencillos
	Limpieza y mantenimiento	Facilidad
Accesorios	Compatibles y disponibles	
Otros criterios	Documentación	Etiquetado, hoja de instrucciones y garantía
	Servicio posventa	Es un aspecto muy importante

Fuente: Criterios de diseño (Gorgues, 2005)

2.2 Componentes del sistema handbike.

SISTEMA DE ALIMENTACIÓN:

El sistema de alimentación del handbike es esencialmente eléctrico y se basa en un sistema de batería recargable. Este componente proporciona la energía necesaria para alimentar el motor eléctrico del handbike. La recarga de la batería puede realizarse mediante métodos convencionales, como tomas de corriente estándar o de carga rápida. La eficiencia y capacidad de la batería son aspectos fundamentales para considerar para maximizar la utilidad y autonomía del handbike eléctrico en diversas situaciones de uso.

Para el presente proyecto se decidió utilizar un conjunto de 4 baterías de plomo ácido de 48v12ah.

Figura 2.1: Conjunto de baterías.



Fuente: Autores

El uso de baterías de plomo-ácido de 48V 12Ah en el sistema handbike eléctrico presenta varios beneficios:

En la actualidad tenemos algunas opciones a tomar en cuenta cuando nos enfocamos en el punto de seleccionar una fuente de alimentación, en este caso se presenta: Las baterías de litio y las baterías de plomo-ácido son dos tecnologías de almacenamiento de energía ampliamente utilizadas en una variedad de aplicaciones. Las baterías de litio han ganado popularidad en los últimos años debido a su alta densidad de energía, larga vida útil y peso ligero, lo que las hace ideales para dispositivos portátiles, vehículos eléctricos y sistemas de almacenamiento de energía. Por otro lado, las baterías de plomo-ácido han sido una opción tradicional para una amplia gama de aplicaciones, desde sistemas de respaldo de energía hasta vehículos de golf, debido a su costo inicial más bajo y su infraestructura establecida

Estudios realizados sobre las baterías como el de (Fornillo, 2015) destacan la importancia estratégica de las baterías de litio en el contexto de una transición hacia una sociedad basada en energías alternativas. Se menciona que las baterías de litio son fundamentales para almacenar energía en un contexto de cambio climático global y para impulsar la movilidad eléctrica. Al comparar las baterías de litio con las de plomo-ácido, es importante considerar varios aspectos clave:

- a. **Costo inicial:** Las baterías de plomo-ácido suelen tener un costo inicial más bajo en comparación con las baterías de litio, lo que puede ser un factor determinante en ciertas aplicaciones de bajo presupuesto.
- b. **Infraestructura existente:** Las baterías de plomo-ácido se han utilizado ampliamente durante décadas y existen infraestructuras establecidas para su reciclaje y mantenimiento, lo que puede ser beneficioso en entornos donde ya se utilizan estas baterías.
- c. **Aplicaciones específicas:** Las baterías de plomo-ácido pueden ser más adecuadas para aplicaciones estacionarias de respaldo de energía, como sistemas de energía solar y de respaldo, donde el costo inicial y la durabilidad son consideraciones clave.
- d. **Disponibilidad local:** En algunas regiones, las baterías de plomo-ácido pueden ser más fácilmente disponibles y accesibles que las baterías de litio, lo que puede influir en la elección de tecnología de almacenamiento de energía.

SISTEMA DE PROPULSIÓN ELÉCTRICA:

Este sistema se refiere a los componentes relacionados con la generación y transmisión de la potencia necesaria para propulsar el handbike. El motor eléctrico es el corazón de este módulo y es el encargado de convertir la energía eléctrica suministrada por las baterías en energía mecánica para propulsar la silla de ruedas.

Para el proyecto se ha considerado utilizar un motor eléctrico brushless de 300W marca Condor sería un motor eléctrico de baja potencia, comúnmente utilizado en aplicaciones como bicicletas eléctricas, scooters eléctricos y pequeños vehículos eléctricos.

Figura 2.2: Motor eléctrico brushless para scooter 300w .



Fuente: Autores

- **Tipo de Motor:** Es un motor de corriente continua sin escobillas (BLDC o brushless DC motor). Este tipo de motor ofrece eficiencia y durabilidad, con un mantenimiento más bajo en comparación con los motores de corriente continua con escobillas.
- **Potencia Nominal:** La potencia nominal es de 300 vatios. Esta potencia se refiere a la cantidad máxima de energía que el motor puede convertir de eléctrica a mecánica en condiciones normales de funcionamiento.
- **Voltaje de Operación:** La especificación de voltaje dependerá del diseño específico del motor, pero los motores de 300 W suelen operar en voltajes relativamente bajos, típicamente en el rango de 24V a 48V.
- **Controlador Electrónico (ESC):** Para operar un motor brushless, necesitarás un Controlador Electrónico de Velocidad (ESC) que se encargue de gestionar la conmutación de las fases del motor y controlar la velocidad.
- **Peso y Tamaño Compacto:** Dado que se trata de un motor de baja potencia, es probable que tenga un diseño compacto y ligero, lo que es beneficioso para aplicaciones de movilidad personal.
- **Aplicaciones Comunes:** Puede encontrarse en bicicletas eléctricas de baja potencia, scooters eléctricos, juguetes eléctricos y otros dispositivos de movilidad personal.
- **Refrigeración:** La generación de calor en motores de baja potencia suele ser moderada, y estos motores a menudo no requieren sistemas de refrigeración sofisticados.
- **Baja Mantenimiento:** Al ser brushless, el motor tiende a tener un menor desgaste y, por lo tanto, requiere menos mantenimiento que los motores con escobillas.

La eficiencia, durabilidad y menor mantenimiento de los motores brushless (sin escobillas) en comparación con los motores de corriente continua con escobillas se deben a varias razones:

Fricción y Desgaste Mecánico: En los motores de corriente continua con escobillas, las escobillas mecánicas están en contacto directo con el rotor, lo que puede generar fricción y desgaste con el tiempo. Esta fricción y desgaste pueden reducir la eficiencia y requerir un mantenimiento más frecuente para reemplazar las escobillas desgastadas. En los motores brushless, al no haber contacto físico directo, se reduce significativamente la fricción y el desgaste mecánico.

Menos Calor Generado: La fricción y las pérdidas de energía en forma de calor son menores en los motores brushless debido a la falta de contacto mecánico directo. Esto no solo mejora la eficiencia, sino que también contribuye a una mayor durabilidad al reducir el estrés térmico en los componentes internos.

Sin Escobillas: Las escobillas en los motores de corriente continua con escobillas son componentes que se desgastan y deben reemplazarse periódicamente. Al eliminar las escobillas en los motores brushless, se elimina la necesidad de reemplazar partes mecánicas que se desgastan con el tiempo, reduciendo así los costos de mantenimiento.

Mayor Vida Útil: La combinación de menor desgaste mecánico y menor generación de calor contribuye a una mayor vida útil para los motores brushless. Estos motores pueden funcionar durante períodos más prolongados sin experimentar el desgaste significativo asociado con las escobillas en los motores de corriente continua con escobillas.

Control Electrónico Preciso: La gestión electrónica de la conmutación en los motores brushless permite un control más preciso de la velocidad y el par motor. Esto no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también reduce la posibilidad de desgaste mecánico debido a conmutaciones bruscas.

SISTEMA DE ACELERACIÓN Y DIRECCIÓN:

La elección de un manubrio y acelerador usados en Scooters eléctricos, juguetes eléctricos y otros dispositivos de movilidad personal para controlar el motor eléctrico en el sistema handbike presenta varios beneficios y consideraciones:

Figura 2.3: Sistema de acelerador



Fuente: Autores

- **Control preciso:** Los manubrios de acelerador proporcionan un control preciso sobre la velocidad del handbike, permitiendo al usuario ajustar la potencia de manera intuitiva según sus necesidades y preferencias.
- **Facilidad de uso:** Este tipo de manubrio es conocido por su diseño ergonómico y su fácil manejo, lo que contribuye a una experiencia de conducción más cómoda y natural para el usuario.
- **Interfaz directa con el controlador:** La conexión directa entre el manubrio como acelerador y el controlador permite una respuesta rápida y precisa, mejorando la eficiencia y la capacidad de maniobra del handbike.
- **Compatibilidad con el sistema de control:** Se pueden seleccionar manubrios de acelerador que sean compatibles con el sistema de control asegurando una integración sin problemas en el sistema global del handbike.
- **Durabilidad y resistencia:** Los manubrios de acelerador de motocicleta están diseñados para resistir las condiciones de uso en exteriores y suelen ser duraderos y resistentes.

SISTEMA DE FRENOS:

El sistema de frenos seleccionado fue de tipo tambor integrado en la rueda delantera, juntamente con el motor eléctrico, se detalla a continuación:

La historia de los frenos de tambor se remonta a su invención en 1890, cuando se iniciaron los ensayos para el diseño de lo que ahora son los frenos de disco. Los frenos de tambor han sido utilizados en una variedad de aplicaciones, desde vehículos de transporte hasta maquinaria industrial. Este tipo de freno se basa en un mecanismo de zapata doble exterior contráctil, que ha demostrado ser efectivo en la transmisión de potencia y en la absorción de energía mecánica. A lo largo del tiempo, se han explorado diferentes materiales para las zapatas de freno, con el fin de mejorar su rendimiento y durabilidad. El estudio de estos materiales alternativos es crucial para comprender su comportamiento en diferentes condiciones de carga y velocidad, así como para determinar su idoneidad en aplicaciones específicas de frenos de tambor(Araque de los Rios, 2012).

- **Integración compacta:** Al utilizar un tambor como sistema de frenos en la rueda delantera, la integración con el motor eléctrico es compacta y eficiente, lo que ayuda a mantener un diseño simplificado y aerodinámico del handbike.

- **Ahorro de espacio y peso:** La combinación de funciones en una sola unidad (freno y motor) permite ahorrar espacio y reducir el peso total del sistema, aspectos cruciales en la construcción de vehículos de movilidad asistida.
- **Sencillez de diseño:** Los frenos de tambor son conocidos por su simplicidad y robustez, lo que facilita la implementación y el mantenimiento. La integración de esta función con el motor eléctrico contribuye a un diseño más sencillo y manejable.
- **Frenado controlado:** Los frenos de tambor ofrecen un frenado controlado y uniforme, lo cual es esencial para proporcionar una experiencia de conducción segura y cómoda para los usuarios de sillas de ruedas manuales.
- **Menor desgaste:** Este tipo de freno tiende a experimentar un desgaste gradual y es menos propenso a la exposición a factores ambientales, contribuyendo a una mayor durabilidad y menor necesidad de mantenimiento frecuente.
- **Eficiencia energética:** Al estar integrado con el motor eléctrico, se puede optimizar el sistema para una eficiencia energética global, permitiendo una mejor gestión de la energía durante el frenado y la propulsión.
- **Requisitos de infraestructura de carga:** La integración de frenos y motor en una rueda facilita la implementación de funciones de regeneración de energía durante el frenado, lo que podría contribuir a mejorar la autonomía del handbike.

Figura 2.4: Sistema de freno tipo tambor



Fuente: Autores

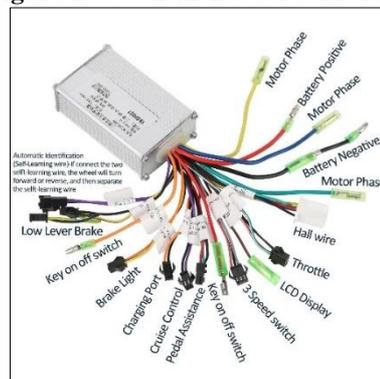
En la actualidad los materiales que son utilizados para este tipo de frenos ya comienzan a variar ya sea por su eficiencia y desgaste de hecho se realizó un estudio (Araque de los Rios, 2012) "Caracterización de materiales alternativos para frenos de fricción" ofrece una investigación detallada sobre el comportamiento de materiales como caucho, madera de

nogal, asbesto, cuero, fundición de hierro y corcho en frenos de tambor accionados con zapata doble exterior contráctil. Mediante pruebas a diferentes velocidades y cargas, se determinaron el coeficiente de fricción dinámico, la presión de trabajo máxima, la evolución de la temperatura y el desgaste superficial de cada material. Los resultados muestran que cada material tiene un comportamiento único, lo que sugiere que los materiales alternativos podrían ser una opción viable en aplicaciones de frenos de fricción, ofreciendo posibles beneficios económicos y ambientales en comparación con los materiales convencionales utilizados en la actualidad.

SISTEMA DE CONTROL:

Para el sistema handbike referente a la administración y control del mismo se utilizará un controlador vectorial de onda sinusoidal que se usa comúnmente para controlar los sistemas de los scooter facilitando la administración de todo el sistema gracias a sus conexiones que son comprensibles de tal manera que en cualquier momento se puede añadir componentes extras como también intercambiar repuestos del sistema si es que llegase a necesitar como un representación de mejora continua y a su vez un manera de economizar lo justo y lo necesario para su funcionamiento

Figura 2.5: Conexiones del controlador



Fuente: Amazon Store

Este controlador permite realizar diferentes actividades que se pueden detallar a continuación:

Regulación del motor: El controlador permite una gestión precisa de la velocidad y la potencia suministradas al motor, lo que contribuye a un rendimiento más eficiente y controlado del handbike.

- **Optimización de la autonomía:** Facilita la implementación de estrategias de gestión de energía, ayudando a optimizar la autonomía del handbike al ajustar la entrega de potencia según las necesidades del usuario y las condiciones del terreno.
- **Seguridad y estabilidad:** El controlador proporciona un control seguro y estable, evitando arranques bruscos o variaciones inesperadas de velocidad, lo que contribuye a una experiencia de usuario más segura y cómoda.
- **Interfaz con el acelerador:** Al conectarse directamente al acelerador, el controlador permite una interfaz directa y eficiente entre la entrada del usuario y la respuesta del motor, mejorando la maniobrabilidad y la experiencia de conducción.
- **Protección del sistema:** Incorpora funciones de protección, como límites de corriente y voltaje, que ayudan a prevenir daños en el motor y otros componentes del sistema en situaciones de carga o uso extremo.
- **Compatibilidad con baterías:** El controlador se puede diseñar para ser compatible con el sistema de baterías específico, asegurando una gestión eficiente y segura de la energía almacenada.
- **Programabilidad y personalización:** Algunos controladores permiten la programación y personalización de parámetros como la velocidad máxima o la respuesta del acelerador, adaptando el handbike a las preferencias individuales de los usuarios.
- **Diagnóstico de fallas:** Proporciona capacidades de diagnóstico que permiten identificar y abordar rápidamente cualquier problema operativo, facilitando el mantenimiento y la resolución eficiente de posibles fallos.

Figura 2.6: Controlador



Fuente: Autores

La integración de un controlador en el sistema handbike contribuye significativamente a la funcionalidad, eficiencia y seguridad del vehículo eléctrico, mejorando la experiencia global del usuario.

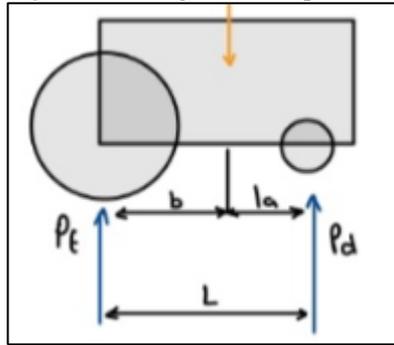
2.3 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

La integridad y estabilidad de la estructura son esenciales para garantizar un acoplamiento seguro y eficiente con la silla de ruedas, maximizando así la seguridad y comodidad del usuario durante su uso. A continuación, se detallan los cálculos realizados para evaluar y asegurar la estabilidad estructural al conectarse con la silla de ruedas. Estos cálculos buscan garantizar que la estructura cumpla con los requisitos de resistencia y estabilidad necesarios para un desempeño óptimo y seguro del sistema handbike.

Cuerpo estructural del sistema handbike: La decisión de que la estructura contenga tanto el motor eléctrico y las baterías en una estructura compacta para el sistema handbike responde a la necesidad de lograr una adecuada distribución del peso y coadyuvar a la estabilidad del vehículo. Cabe señalar que este diseño compacto ayuda a reducir la cantidad de espacio dedicado a los componentes eléctricos sin perder la eficiencia y la estética del producto final. Además, al consolidar el motor y las baterías en una estructura compacta, se reduce la complejidad del sistema eléctrico y se simplifican las conexiones, lo cual mejora la confiabilidad del handbike.

Centro de masas de la silla de ruedas: El cálculo del centro de masa del sistema permite establecer una distribución correcta del peso en la silla y el sistema de propulsión eléctrica. Esto asegura, además, la integración óptima de los componentes del handbike, garantizando estabilidad y maniobrabilidad durante su uso, y contribuyendo a optimizar la eficiencia energética, por cuanto se realizan los esfuerzos adecuados para propulsar la silla de ruedas, y se asegura que el handbike se adapte de manera efectiva a las necesidades específicas del usuario.

Figura 2.7: Diagrama de reparto de pesos.



Fuente: Autores

Se busca encontrar el valor de pesos en los ejes para saber la concentración de los diferentes pesos para llegar así a determinar cuál es mayor y menos (Bakker et al., 1989).

Cálculo para determinar el peso sobre el eje delantero:

$$L = 120 \text{ cm} = 1,2 \text{ m}$$

$$La = 60 \text{ cm} = 0,6 \text{ m}$$

$$\mathbf{P = 0,9 \text{ kN}}$$

Reparto de peso por ejes, suponiendo el valor del peso así se obtendría la proporción del peso que se va aplicando en este caso al eje delantero (Cole, 1972):

$$\text{Persona} = Wp = 75 \text{ kg} = 0,75 \text{ kN}$$

$$\text{Silla de ruedas} = Ws = 15 \text{ kg} = .15 \text{ kN}$$

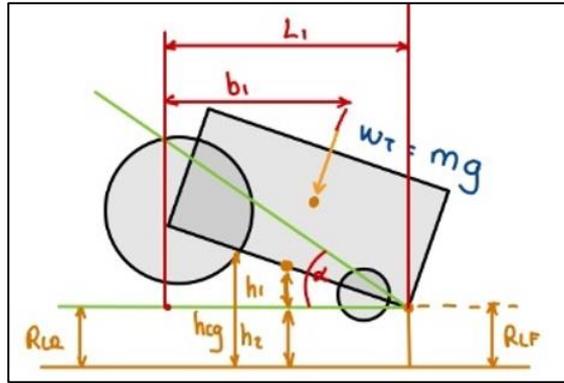
$$\mathbf{WT = Wp + Ws = 0,9 \text{ kN}}$$

$$Pd = \text{Proporción del peso aplicado al eje delantero.}$$

Carga estática sobre el eje delantero sobre la superficie horizontal

$$Pd = P \frac{L - la}{L} = 0,9 \frac{1,2 - 0,6}{1,2}$$
$$\mathbf{= 0,45 \text{ kN}}$$

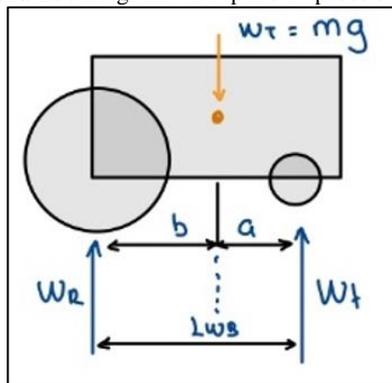
Figura 2.8: Diagrama de pesos con inclinación



Fuente: Autores

Después de entender en qué lado estará mayor peso se procede a calcular la distancia para los apoyos de la estructura con la silla de ruedas y así llegar a la distancia correcta para un correcto anclaje que va a tener entre ambas estructuras (Bastow et al., 2004).

Figura 2.9: Diagrama de reparto de pesos segunda parte



Fuente: Los autores

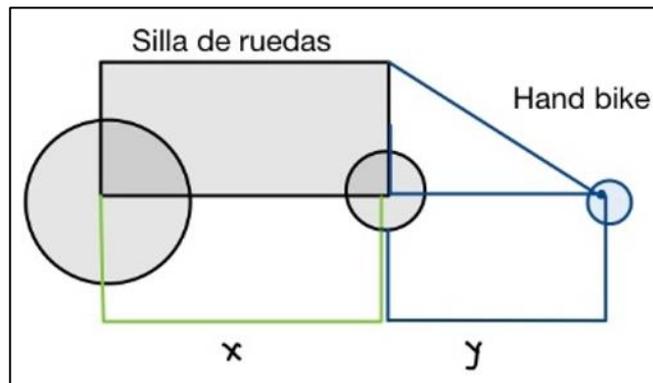
Peso de silla de ruedas = 15 kg

$$WT = WF + WR$$

$$WT * b = WF + LWB \text{ ----- } WF = WT * \left(\frac{b}{LWB}\right)$$

$$WT * a = WR + LWB \text{ ----- } WR = WT * \left(\frac{a}{LWB}\right)$$

Figura 2.10: Dimensión entre silla de ruedas y handbike.



Fuente: Autores

$$WF = WT * \left(\frac{b}{LWB} \right)$$

$$= 147,15 * \left(\frac{27}{48} \right)$$

$$= 8,2771 \frac{Kg}{s^2}$$

$$= \mathbf{8,2771 \frac{N}{m}}$$

$$WR = WT * \left(\frac{a}{LWB} \right)$$

$$= 147,15 * \left(\frac{21}{48} \right)$$

$$= 6,4378 \left(\frac{Kg}{s^2} \right)$$

$$= \mathbf{6,43 (N/m)}$$

$$- WT = m * g$$

$$WT = 15 kg * 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$Wt = \mathbf{157,15 Kg} * \frac{m}{s^2}$$

$$WT = WF + WR$$

$$= 8,2277 \left(\frac{N}{m} \right) + 6,437 \left(\frac{N}{m} \right)$$

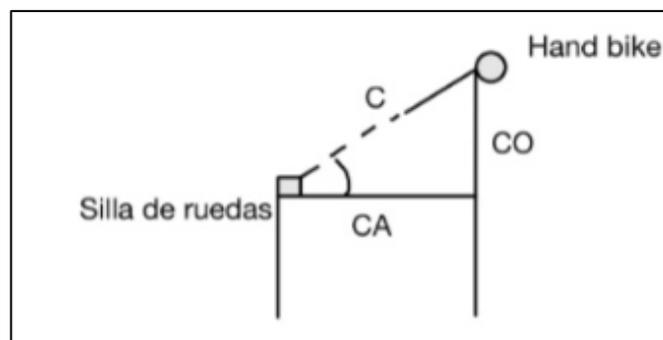
$$= 14,66 \left(\frac{N}{m} \right)$$

ACOPLAMIENTO DE LA ESTRUCTURA A LA SILLA DE RUEDAS

El anclaje de la estructura se realiza en las bases inferiores de la silla de ruedas, con el fin de permitir la inclusión de la caja para las cuatro baterías, maximizando así el uso del espacio sin afectar el área personal del usuario, tomando en cuenta los siguientes puntos importantes sobre los requisitos que necesitara la cumplir la estructura en referencia a el acoplamiento

- **Altura del suelo:** Colocar la estructura en las bases inferiores aumenta la altura total del handbike, esto ayuda para poder cruzar ciertas zonas de determinados terrenos como rompe velocidades, subir veredas como también cruzar algún obstáculo para evitar que llegase a topar la estructura con el terreno.
- **Centro de gravedad:** La concentración de peso en la parte inferior de la silla de ruedas puede afectar el centro de gravedad, afectando la estabilidad del handbike, especialmente en terrenos irregulares.
- **Sujeción de la estructura con la silla de ruedas:** Para sujetar la estructura en la parte inferior de la silla de ruedas y crear una inclinación correcta en las bases para ubicar la caja de baterías se procedió a medir las dimensiones de la caja de baterías y ubicarla en el centro, después se calculó la longitud de las bases y el ángulo necesario para lograr la inclinación deseada.

Figura 2.11: Diagrama para ubicación de bases de baterías



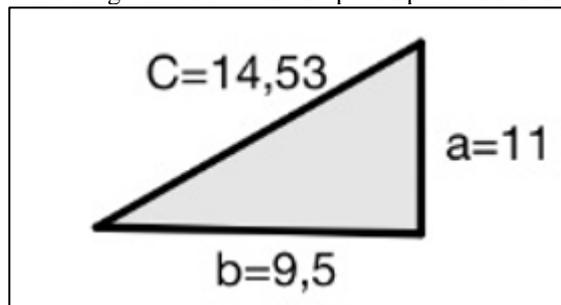
Fuente: Autores

$$C = \sqrt{(9,5)^2 + (11)^2}$$

$$C = 14,53$$

Para calcular los valores de las distancias que debían tener las bases las cuales sirven de acoplamiento entre el sistema handbike y la silla de ruedas para su sujeción perfecta tomando medidas de alturas y distancia entre ejes que dispone en la parte inferior de la silla ruedas para poder tener los datos necesarios y poder proceder con estos cálculos para evitar problemas de sujeción evitando cualquier tipo de problema de sujeción entre estructuras.

Figura 2.12: Diagrama con datos completos para las bases de las baterías.



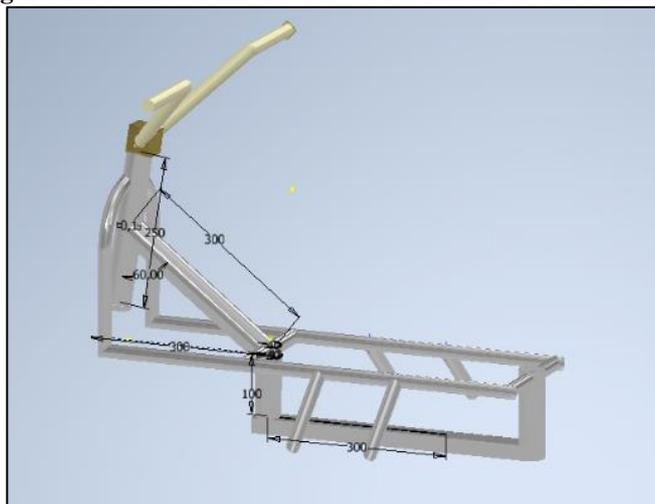
Fuente: Autores

2.4 MODELAMIENTO DE LOS COMPONENTES

El CAD/CAM es una tecnología avanzada que utiliza computadoras para el diseño y la fabricación asistida. Permite la elaboración y comprobación de proyectos metalmecánicos antes de su fabricación, reduciendo costos y tiempos. Además, se requiere personal altamente calificado para su implementación. Ofrece ventajas como alta precisión, confiabilidad y productividad, pero también implica costos de adquisición y mantenimiento. Este enfoque tecnológico es crucial en la actualidad y su dominio puede brindar ventajas competitivas en la producción (CARRASCO GARCIA, 2006).

CAD permite crear modelos tridimensionales de estructuras, lo que facilita la visualización y comprensión de su diseño y funcionamiento. Esto ayuda a los ingenieros y arquitectos a analizar y evaluar la viabilidad y eficiencia de las estructuras antes de su construcción (Gracia-Ibáñez & Vergara, 2016).

Figura 2.134: Modelamiento de la estructura del sistema handbike



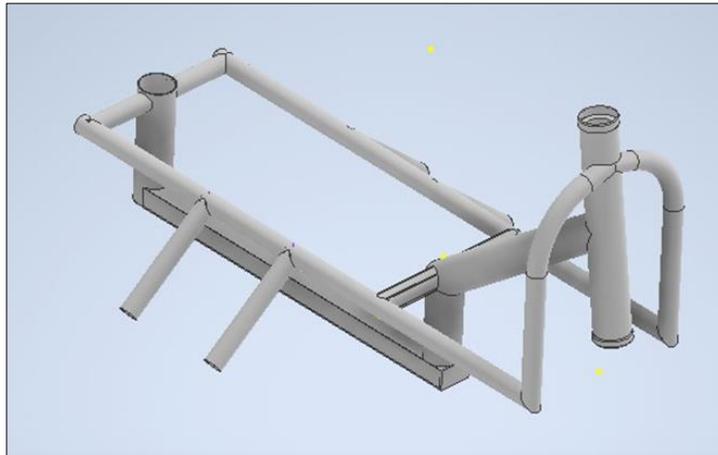
Fuente: Autores

Una de las consideraciones en el modelamiento fue asegurar que la estructura no pierda su centro de masa ni tampoco sea demasiado rígida, por las afectaciones que podrían darse a nivel de la estabilidad y maniobrabilidad del handbike. La pérdida del centro de masa puede provocar una distribución desequilibrada del peso, lo que afecta la estabilidad general del vehículo. Esto puede traducirse en una experiencia de conducción menos segura y controlada para el usuario.

Por otro lado, la rigidez excesiva de la estructura puede resultar en una conducción incómoda y menos adaptable a las variaciones del terreno. La rigidez extrema puede afectar la absorción de impactos y vibraciones, generando una experiencia más áspera para el usuario y potencialmente aumentando el riesgo de fatiga o lesiones.

Para asegurar el diseño correcto de la estructura se revisaron y ajustaron estas deficiencias, debiendo hacer modificaciones en la geometría de la estructura para recuperar el centro de masa adecuado, así como la introducción de elementos de flexibilidad en la estructura como es la curva que se dispuso desde la zona baterías acoplada hacia la parte dirección para obtener un pandeo que ayude a soportar la presión que llegue a tener y a su vez dispone de una base que soporte y limite este pandeo para tampoco exceder lo que queremos en amortiguación estructural para mejorar la comodidad y la adaptabilidad en la conducción.

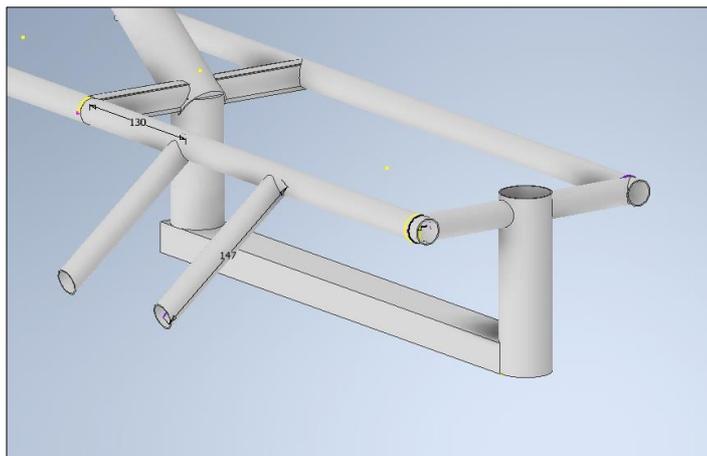
Figura 2.14: Modelamiento fase estructural.



Fuente: Autores

Una estructura flexible contribuye a mejorar la comodidad del usuario durante la conducción al absorber impactos y vibraciones del terreno, esto permitirá una experiencia más suave y reducir el riesgo de fatiga o molestias para el usuario, especialmente en trayectos más largos o en terrenos irregulares. Además, la flexibilidad puede mejorar la adaptabilidad del handbike a las variaciones del terreno, lo que se traduce en una mayor maniobrabilidad y estabilidad del vehículo. Para la zona de baterías se diseñó un contenedor en la base para reducir la complejidad y facilitar su mantenimiento y accesibilidad. Al colocar estas bases en la zona de mayor peso, se optimiza la distribución de la carga, mejorando la estabilidad general y reduciendo la posibilidad de desequilibrio o vibraciones no deseadas durante la conducción.

Figura 2.15: Modelamiento para la zona de baterías.



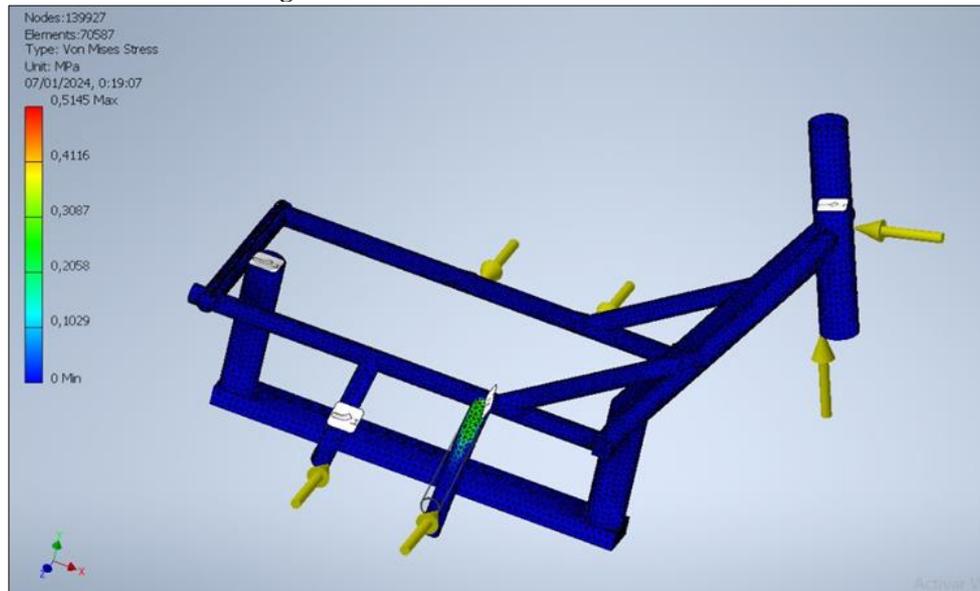
Fuente: Autores

Cabe indicar que durante la prueba de esfuerzos se demostró que la estabilidad y rigidez del área de baterías, no solo garantizan la seguridad del usuario al manipular el sistema de alimentación, sino que también contribuyen a la integridad y rendimiento global del handbike eléctrico, asegurando una experiencia de conducción confiable y segura.

Análisis de esfuerzos de la estructura

El análisis de esfuerzos brinda información valiosa y detallada sobre la resistencia estructural, identificando áreas críticas que podrían experimentar tensiones excesivas. Esto facilita la optimización del diseño, posibilitando ajustes en la geometría, los materiales o la distribución de carga para mejorar la eficiencia estructural. La visualización de esfuerzos garantiza la seguridad del usuario al identificar y abordar posibles puntos de la estructura sometidos a tensiones críticas. Además, contribuye a la validación de los materiales utilizados, asegurando que cumplan con los requisitos de resistencia y durabilidad. La capacidad de prever la vida útil de la estructura y evaluar la eficiencia del diseño, minimizando el peso innecesario mientras se mantiene la resistencia requerida, es fundamental. La visualización de esfuerzos también juega un papel clave en la verificación del cumplimiento de estándares y normativas de seguridad, garantizando la conformidad reglamentaria del handbike eléctrico.

Figura 516: Análisis de esfuerzos de la estructura.



Fuente: Autores

2.5 CONSTRUCCIÓN

Una vez realizado el modelamiento con el software Autodesk Inventor, se realiza la construcción a la construcción de la estructura metálica y a la adquisición de los componentes mecánicos, eléctricos, así como de los sistemas de freno y dirección para realizar el ensamblaje del handbike. Todos los componentes mecánicos, desde los engranajes hasta ruedas, fueron seleccionados para cumplir con los estándares de resistencia y durabilidad del diseño. El sistema de aceleración y control, que incluye un manubrio de acelerador y un controlador electrónico, permitirá gestionar de manera eficiente el motor eléctrico. Las partes estructurales y de sujeción necesarias para ensamblar y fijar los componentes en la estructura aseguran una construcción robusta y segura. En conjunto, este proceso garantiza que cada componente sea coherente con el diseño original, posibilitando la construcción de un handbike eléctrico funcional y seguro.

Figura 67: Conexiones de componentes del sistema handbike.



Fuente: Autores

Diseño de las bases para la sujeción de la caja de baterías:

La ubicación de las bases en la zona de las baterías en el handbike eléctrico aportan con la estabilidad, equilibrio y distribución del peso en el diseño global del vehículo. La zona donde se ubican las baterías generalmente es la de mayor peso en el handbike debido a la densidad y masa de las baterías. Al colocar las bases en esta zona, se logró un centro de masa óptimo y una distribución equilibrada del peso para mejorar la estabilidad general del handbike ya

que el centro de masa del handbike se ubica en la misma posición que el centro de gravedad del usuario.

Figura 718: Bases para la caja de baterías



Fuente: Autores

Al momento de la construcción se aseguró una integración estética y funcional de los componentes mecánicos y eléctricos para distribuir la carga sobre la estructura. Esto asegura el soporte de manera efectiva del todo el peso de los componentes y del conductor, evitando deformaciones no deseadas y garantizando la durabilidad a largo plazo del handbike.

Figura 8: Ubicación de la estructura en la silla de ruedas



Fuente: Autores

Figura 920: Sistema de Suspensión de horquilla hidráulica modificada



Fuente: Autores

En el sistema de suspensión que se planeó acoplar a la estructura, se realiza la modificación que cumpla con las medidas necesarias para que se encuentre a medida con la rueda que funciona como motor y lleva consigo el sistema de freno que en este caso es tipo tambor llevando así que la estructura del motor sea notablemente ancha para un repuesto de suspensión normal

Figura 10.21: Bases para acoplamiento del motor.



Fuente: Autores

CAPÍTULO 3

3. IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DE DESEMPEÑO

3.1 Pruebas de rendimiento

La ejecución de pruebas de rendimiento del handbike se llevaron a cabo considerando distintos terrenos, condiciones ambientales y variaciones de peso para evaluar tanto la capacidad estructural como el rendimiento funcional del vehículo. Estas pruebas incluyeron el análisis en terrenos diversos, como pavimento y caminos irregulares, donde se evalúa la capacidad de la suspensión para mantener la estabilidad. Al introducir variaciones de peso se simulan distintos escenarios de carga, permitiendo evaluar la respuesta de la estructura y el sistema de propulsión.

Figura 3.1: Handbike ensamblado.



Fuente: Los autores

Las pruebas también abordan la velocidad y aceleración del handbike para garantizar un rendimiento consistente del sistema de propulsión. Se llevan a cabo pruebas de resistencia y durabilidad en terrenos desafiantes para verificar la robustez estructural del handbike durante trayectos prolongados. La maniobrabilidad y control se evalúan en situaciones prácticas como curvas cerradas, asegurando que el usuario pueda maniobrar con precisión y seguridad. La implementación de sistemas de registro y análisis de datos proporciona información en tiempo real sobre parámetros clave, como velocidad y temperatura del motor, permitiendo un análisis detallado del rendimiento del handbike en cada escenario de prueba. Estas pruebas, al abordar diversas variables, garantizan que el handbike no solo cumpla con las

especificaciones de diseño, sino que también demuestre un rendimiento sólido y confiable en una variedad de condiciones del mundo real.

Se usó la aplicación GPS logger durante las pruebas de rendimiento del handbike en diversos terrenos y condiciones. A continuación, se detallan algunos de los indicadores que esta aplicación aportó al proceso de evaluación:

- **Registro de trayectoria:** Con la aplicación se registró la trayectoria del handbike durante las pruebas. Esto incluiría información sobre la ruta exacta tomada, lo cual es crucial para evaluar el rendimiento en diferentes tipos de terreno y condiciones geográficas.
- **Velocidad y aceleración en tiempo real:** Al utilizar datos GPS, la aplicación proporciona información precisa sobre la velocidad y aceleración del handbike en tiempo real. Esto es esencial para evaluar el rendimiento del sistema de propulsión en diversos escenarios y terrenos.
- **Análisis de variaciones de velocidad:** La aplicación permitió analizar las variaciones de velocidad en diferentes secciones de la ruta. Esto es valioso para identificar áreas donde se pueden realizar mejoras en términos de eficiencia y rendimiento del handbike.
- **Mapeo de condiciones del terreno:** La aplicación contribuye a crear mapas de las condiciones del terreno durante las pruebas. Esto es crucial para entender cómo el handbike respondió a diferentes tipos de superficies y para optimizar la suspensión y el sistema de tracción.
- **Registro de datos de desplazamiento:** La aplicación registró datos de desplazamiento, como la distancia total recorrida, lo que proporciona información clave sobre la duración de las pruebas y la eficiencia en el consumo de energía durante cada sesión.
- **Análisis de rendimiento en tiempo real:** La capacidad de obtener datos de rendimiento en tiempo real permite a los evaluadores ajustar y adaptar las pruebas según sea necesario. Esto contribuye a una evaluación más dinámica y precisa del handbike durante las diferentes condiciones de prueba.
- **Seguimiento de cambios de altitud:** El registro de cambios de altitud a través del GPS es esencial, especialmente en terrenos inclinados. Esto proporciona información valiosa sobre cómo el handbike responde a cambios de elevación y pendientes.

3.2 Pruebas de velocidad

Las pruebas de velocidad en diferentes terrenos y condiciones de carga son esenciales para evaluar el rendimiento de la silla de ruedas equipada con el sistema handbike. Aquí se detallan las consideraciones y el enfoque técnico para llevar a cabo estas pruebas:

Terrenos de Prueba:

- Adoquinado: Este terreno irregular y con superficie dura simula condiciones urbanas.
- Empedrado: Superficie desafiante que evalúa la capacidad de tracción y amortiguación.
- Cemento Plano: Terreno estable para contrastar con superficies más irregulares.
- Asfalto: Terreno común en entornos urbanos, proporcionando una referencia estándar.

Condiciones de Carga: 63 kg, 75 kg, 85 kg: Variaciones de peso para simular diferentes tipos de usuario. Esto evaluará la eficacia del handbike en condiciones de carga variable.

CONFIGURACIÓN DE LAS PRUEBAS:

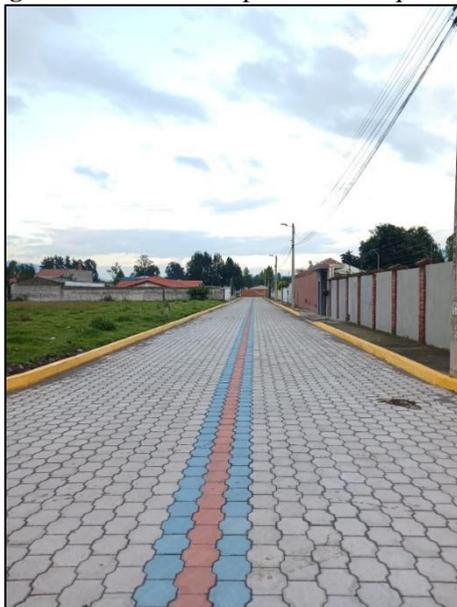
- Realizar pruebas idénticas con la silla de ruedas equipada con el sistema handbike.
- Utilizar el mismo protocolo de prueba en cada terreno y condición de carga.
- La distancia promedio a utilizar entre las rutas de prueba para medir velocidad debe tener en promedio 100 metros para poder tener tiempo de medir y tomar en cuenta a que velocidad podría llegar

Equipamiento de Medición:

- GPS Logger: Registrar datos de velocidad y ubicación en tiempo real durante las pruebas.
- Cronómetro: Medir tiempos de recorrido en cada terreno y para cada condición de carga.

Análisis de Datos: Para el análisis de los datos se procedió a comparar las velocidades alcanzadas en cada terreno y para cada peso entre la silla de ruedas manual y la equipada con handbike. Se evaluó la consistencia del rendimiento en diferentes condiciones y terrenos, así como el impacto de la carga adicional en la velocidad y eficiencia del handbike. Se realizaron múltiples repeticiones de las pruebas para obtener resultados más precisos y reducir la variabilidad

Figura 3.2: Terreno de prueba – Adoquinado.



Fuente: Autores

Figura 3.311: Terreno de prueba – Empedrado.



Fuente: Autores

Figura 3.412: Terreno de Prueba – Pavimento Plano



Fuente: Autores

Figura 13.5: Terreno de Prueba – Asfalto



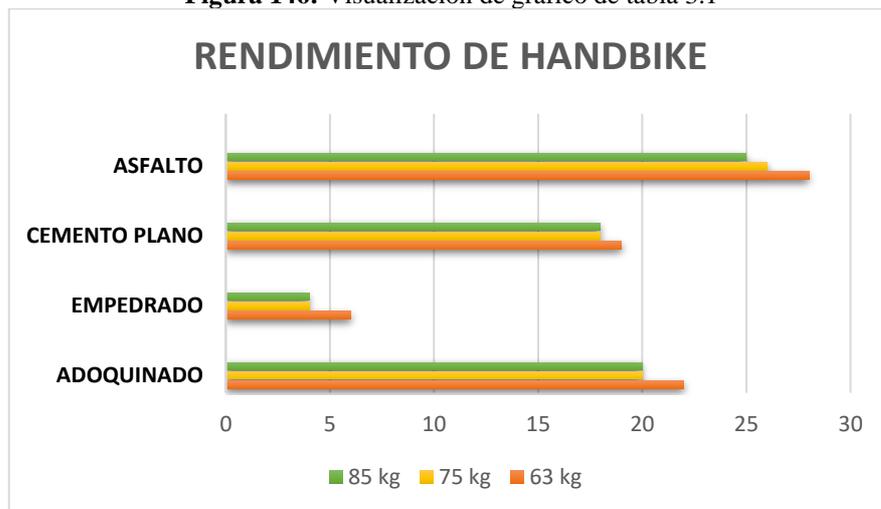
Fuente: Autores

Tabla 2: Tabla de rendimiento de velocidad

PRUEBAS DE RENDIMIENTO DIFERENTES USUARIOS POR (PESO - TERRENO) - HANBDIKE								
Pesos	ADOQUINADO		EMPEDRADO		CEMENTO PLANO		ASFALTO	
	Velocidad Max	inestabilidad	Velocidad Max	inestabilidad	Velocidad Max	inestabilidad	Velocidad Max	inestabilidad
63	22 km/h	estable	6 km/h	lentitud	19 km/h	estable	28 km/h	estable
75	20 km/h	estable	4 km/h	lentitud	18 km/h	estable	26 km/h	estable
85	20 km/h	inestabilidad en dirección	4 km/h	lentitud	18 km/h	estable	25km/h	estable

Fuente: Autores

Figura 146: Visualización de grafico de tabla 3.1



Fuente: Autores

En la tabla de resultados se observa que el rendimiento se ve afectado en el área de tierra y empedrado, principalmente debido a problemas de tracción y equilibrio. La combinación de terreno empedrado con tierra puede generar una pérdida de tracción, ya que las ruedas pueden tener dificultades para mantener contacto constante con el suelo. Esto afecta la eficiencia de la propulsión y, por ende, la velocidad. Una alternativa para resolver esta situación adversa es la incluir neumáticos diseñados para terrenos irregulares o la incorporación de un sistema de tracción más avanzado.

3.3 Pruebas de autonomía

Las pruebas de autonomía del sistema proporcionan información valiosa sobre la duración de la batería y su rendimiento en diversas condiciones de uso. A continuación, se detalla un análisis técnico de los resultados obtenidos y se sugieren consideraciones para optimizar el rendimiento: Tiempo de carga total estimado: 3 horas.

- Tiempos de cargas realizadas: 4 cargas de 1 hora 30 minutos (mitad de tiempo de carga) para realizar pruebas de desempeño de batería.
- Tiempo de duración de la carga: 1 a 2 horas en diversas pruebas de rendimiento y estabilidad, en terrenos planos.

Duración Potencial con Carga Completa: Se deduce que, si se carga completamente, la duración podría duplicarse en este caso si las cargas de prueba realizadas son de 1 a 2 horas el tiempo estimado para el tiempo de uso de la carga completa sería de 3 a 4 horas tomando en cuenta que de uso continuo, alcanzando así el tiempo de uso deseado. Sin embargo, este cálculo asume condiciones óptimas y un uso constante en un entorno controlado.

Impacto de terrenos empinados: Se identifica que el rendimiento de la batería disminuye considerablemente en cuestas empinadas en subida. Esto se debe a la mayor demanda de potencia por parte del motor eléctrico al enfrentar terrenos inclinados, lo que acorta la duración de la batería.

Figura 157: Terreno empinado



Terreno con 8 y 4 grados de inclinación **Fuente:** Autores

Durante la prueba en un terreno empinado de 8 grados de inclinación, se observó que el handbike inicialmente enfrentó dificultades para ascender, experimentando una pérdida de potencia mayor de la esperada. Se constató que la batería, que se había planificado para tener más del 50% de carga al inicio de la prueba, disminuyó significativamente y alcanzó niveles tan bajos como el 10%. Esta disminución inesperada de la carga afectó la capacidad del motor, exacerbando la pérdida de potencia y limitando la capacidad de enfrentar terrenos con inclinación mayor a 6 grados además de un sobrecalentamiento del sistema.

Además, se identificó que la pérdida de tracción fue atribuible tanto a la estructura del handbike como a la insuficiencia de potencia del motor para abordar eficientemente rutas de este tipo. Este hallazgo resalta la necesidad de optimizar tanto la capacidad de la batería como la potencia del motor para asegurar un rendimiento consistente en condiciones desafiantes, como terrenos empinados.

Para identificar el rendimiento del sistema se busco terrenos con inclinación menor para poder encontrar en cual se desarrolla y desempeña de mejor manera así se llevo a realizar pruebas de rendimiento en una vía que tenia 4 grados de inclinación constando que si sobrepasa 6 grados de inclinación hace un sobreesfuerzo el motor como también depende del terreno en cual se movilice de preferencia para evitar estos sobreesfuerzos el terreno debe ser asfaltado para tener mayor tracción y facilidad ya que es espacio plano para la movilización de la silla de ruedas, en las pruebas realizadas el handbike sobrepaso con facilidad esta inclinación de 4 grados llegando a velocidades de avance de hasta 17 km/h que se verifico mediante el uso de GPS Logger para la medición de velocidad alcanzada.

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS ECONÓMICO

El presente análisis se concentra en los costos de fabricación del sistema handbike, lo cual determina la viabilidad económica en su implementación. A continuación, se explican los elementos fundamentales que permitirán para determinar la viabilidad económica del proyecto. Los costos deben ser sostenibles y estar alineados con los recursos disponibles y las expectativas financieras.

4.1 Costos de Fabricación

A continuación se definen los costos de los componentes más importantes que se usaron para el desarrollo del presente proyecto:

Tabla 3: Costos de fabricación

COMPONENTE	PRECIO
Motor eléctrico	\$150
Sistema de Frenos	\$50
Baterías de plomo-acido	\$120
Estructura	\$40
Suspensión	\$60
Total	\$420

Fuente: Autores

Además, se debe tener cuenta que estos costos no incluyen los gastos adicionales, como son herramientas, mano de obra, envío y otros componentes específicos que son necesarios para el proyecto.

4.2 Alternativas comerciales

El mercado de handbikes eléctricos está en constante evolución, con diversas alternativas y opciones disponibles. A continuación, se detallan algunas alternativas sus principales características:

Handbikes eléctricos comerciales: Varias empresas fabrican handbikes eléctricos comerciales con diferentes especificaciones y características. Estos productos suelen estar diseñados para ser acoplados a sillas de ruedas manuales y ofrecen funciones de propulsión eléctrica.

Figura 4.116: Handbike inteligente ligero y resistente al agua



Fuente: (Dismovil, 2020)

Kits de conversión: Son componentes diseñados para transformar sillas de ruedas manuales convencionales en handbikes eléctricos. Estos kits suelen incluir un motor eléctrico, baterías y componentes de control que se pueden agregar a una silla de ruedas existente.

Handbikes todo en uno: Algunos handbikes eléctricos están diseñados como unidades independientes que no requieren acoplamiento a una silla de ruedas manual. Estos dispositivos pueden ser utilizados tanto como handbike eléctrico independiente como acoplados a una silla de ruedas, proporcionando versatilidad de uso.

Sistemas de propulsión eléctrica integrados: Algunas sillas de ruedas manuales vienen equipadas con sistemas de propulsión eléctrica integrados, eliminando la necesidad de un handbike separado. Estos sistemas a menudo permiten que la silla de ruedas sea impulsada manual o eléctricamente según las necesidades del usuario.

Handbikes de alto rendimiento: Diseñados para deportistas y entusiastas del fitness. Estos modelos suelen destacarse por su potencia y características de rendimiento avanzadas, proporcionando una experiencia de conducción más deportiva.

Figura 4.217: Handbike ultraligera



Fuente: (Orto Josbel, 2020)

Handbikes con tecnología avanzada: Algunos modelos incorporan tecnologías avanzadas, como sistemas de control por aplicación móvil, conectividad Bluetooth, asistencia inteligente y características de seguridad mejoradas.

Handbikes específicos para terrenos complejos: Son handbikes diseñados específicamente para pistas todoterreno, con capacidades mejoradas para enfrentar superficies rugosas y desafiantes.

4.3 Calidad/Precio

El presente proyecto se distingue del conjunto de handbikes presentado en el punto anterior ya que constituye una alternativa asequible desde el punto de vista económico sin comprometer las funcionalidades en su operación y desempeño. Esta propuesta desarrollada por los estudiantes, se destaca por su relación costo-beneficio, y es pensada en usuarios que buscan eficiencia sin sacrificar la calidad esencial de aquello que debe cumplir un handbike eléctrico.

CONCLUSIONES

- Actualmente los sistemas handbikes constituyen una valiosa alternativa de movilidad eléctrica que brinda a las personas con discapacidad en sus extremidades inferiores, una herramienta de fácil uso, gran adaptabilidad y que reduce el esfuerzo durante los desplazamientos aportando a una mejor calidad de vida.
- El diseño y construcción del handbike está fundamentado en un análisis técnico de componentes mecánicos y eléctricos para brindar una alternativa de movilidad eléctrica acoplable a una silla de ruedas convencional con un rendimiento competitivo a un costo considerablemente más bajo.
- A igual que otras alternativas comerciales, el handbike desarrollado cumple altos estándares de rendimiento y funcionamiento, no obstante, se destaca por cuanto demuestra un equilibrio razonable entre los costos de fabricación y la calidad del producto final.
- Los cálculos del centro de masa del sistema permitieron una correcta integración del handbike con la silla de ruedas convencional asegurando una distribución equilibrada de los pesos y garantizando su eficiencia en cuanto a la estabilidad y maniobrabilidad, sin perder tracción en diversas condiciones de uso.
- Las pruebas llevadas a cabo reflejan resultados positivos en cuanto a las pruebas de conducción en varios escenarios. El dispositivo respondió con efectividad en las diversas condiciones de los terrenos, lo cual se tradujo en una movilidad segura y confiable, validando su idoneidad para su uso cotidiano.

RECOMENDACIONES

- En futuras versiones se sugiere reforzar el sistema de suspensión para adaptarse mejor a terrenos irregulares. Esto podría implicar ajustes en la geometría de la suspensión o la incorporación de amortiguadores más avanzados para mantener la estabilidad.
- Una nueva versión podría utilizar neumáticos con un perfil diseñado para maximizar la tracción en terrenos mixtos. La selección de neumáticos adecuados puede marcar una gran diferencia en la capacidad de enfrentar superficies irregulares.
- Se sugiere analizar la posibilidad de incorporar sistemas de control adaptativos que ajusten automáticamente la potencia o la distribución de esta en función del terreno detectado. Esto podría mejorar la estabilidad y el rendimiento en condiciones variables.
- Evaluar la posibilidad de ajustar la distribución de peso o realizar modificaciones en el diseño empleando materiales ligeros y resistentes para optimizar la estabilidad en terrenos más difíciles.
- Tiempo de carga para las baterías es de 5 a 6 horas para una carga completa de preferencia dejarlo cargando por la noche para poder usarlo durante el día siguiente.
- Las baterías de plomo-ácido son conocidas por tener una menor densidad de energía y una vida útil limitada en comparación con tecnologías más recientes, como las baterías de ion de litio. Estas últimas ofrecen una mayor eficiencia energética, peso más ligero y una mayor duración, lo que podría mejorar significativamente el rendimiento del handbike en situaciones de terreno desafiante. Se recomienda considerar la transición a baterías de ion de litio para mejorar la autonomía y la estabilidad del handbike, especialmente en condiciones exigentes

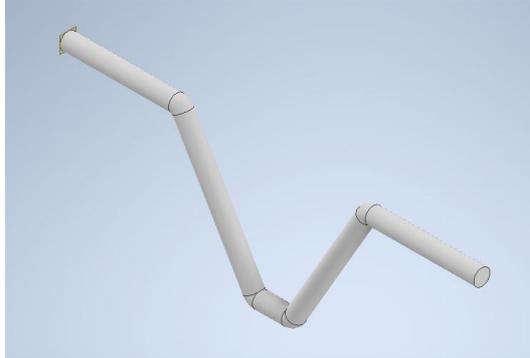
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Araque de los Rios, O. J. (2012). Caracterización de materiales alternativos para frenos de fricción. *Scientia Et Technica*, XVII(52), 26–31. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84925149005>
- Bakker, E., Pacejka, H. B., & Lidner, L. (1989). A New Tire Model with an Application in Vehicle Dynamics Studies. *SAE Transactions*, 98, 101–113. <http://www.jstor.org/stable/44472260>
- Bastow, D., Howard, G., & Whitehead, J. P. (2004). *Car suspension and handling*. SAE international Warrendale.
- Blasco-Giménez, M., & Cruzado, D. P. (2021). LESIÓN MEDULAR QUALITY OF LIFE AND AUTONOMY IN ACTIVITIES OF DAILY LIFE OF SPINAL CORD INJURY PATIENTS. In *TOG (A Coruña)* (Vol. 18). www.revistatog.comEspaña. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7935-6154> ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7952-0831>
- Camacho Suárez, D., & Mario Mateus, L. (2020). *Diseño y manufactura de un handbike híbrido*.
- Campese, C., Rossi da Silva, T. N., Lunardon Gomes da Silva, L., Pierre Figueiredo, J., & Menegon, N. L. (2016). Assistive technology and passengers with special assistance needs in air transport: contributions to cabin design. *Production*, 26(2), 303–312. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=396745849005>
- CARRASCO GARCIA, J. C. (2006). Tecnología avanzada del diseño y manufactura asistidos por computador - CAD/CAM. *PROSPECTIVA*, 4(1), 75–81. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=496251107012>
- Cifuentes, A., Plaza, M., & Rondón, S. (2016). Diseño de un módulo de transformación para sillas de ruedas eléctricas en silla de ruedas inteligente. *Ciencia y Poder Aéreo*, 11(1), 202–213. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=673571174018>
- Cole, D. E. (1972). *Elementary vehicle dynamics*. Department of Mechanical Engineering, the University of Michigan.
- Dismovil, tienda en línea. (2020). *ELEMENTOS SILLA DE RUEDAS DISPOSITIVO TIPO HANDBIKE 1. ASPECTOS TÉCNICOS GENERALES*.
- Fornillo, B. (2015). ¿Nueva energía Argentina? Política, ciencia e industria del litio. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 26(51), 271–304. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14542676012>
- Gorgues, J. (2005). Selección y adaptación de sillas de ruedas convencionales. *Offarm*, 24(8), 148–152. <https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-articulo-seleccion-adaptacion-sillas-ruedas-convencionales-13078588>

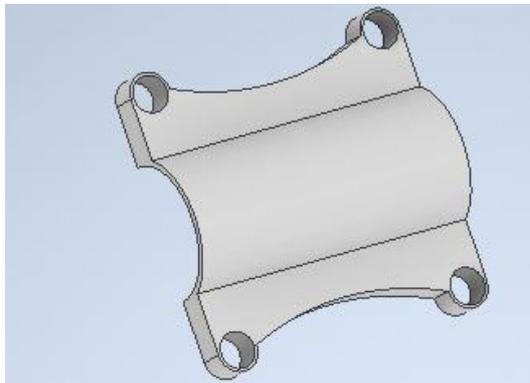
- Gracia-Ibáñez, V., & Vergara, M. (2016). Applying action research in CAD teaching to improve the learning experience and academic level. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 13(1), 1–13. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=501550294030>
- Ministerio de Sanidad, P. S. e I. (2011). GUÍA DESCRIPTIVA DE ORTOPRÓTESIS. TOMOI. *Ministerio de Sanidad, Política Social e Igualdad*, 1, 240.
- Orto Josbel, T. en línea. (2020). *BATEC Handbike Eléctrico y Silla de ruedas ultraligera Rogue ALX*. <https://www.ortopediaortojosbel.es/sillas-de-ruedas/handbikes/>
- Ortopedia Mimas. (2017). *Handbike - El Complemento que Transforma tu Silla de Ruedas - Blog de Ortopedia Mimas*. <https://www.ortopediamimas.com/blog-de-ortopedia/handbike-el-complemento-que-transforma-tu-silla-de-ruedas/>
- San Antonio, T., López Arboleda, J., Sánchez Rosero, C., & Urrutia, F. (2015). Metodología para incentivar la inserción laboral de personas en sillas de ruedas: una propuesta para Ecuador. *Revista de la Universidad Industrial de Santander. Salud*, 47(2), 215–217. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=343839278014>

ANEXOS.

Anexo 1: Prototipo de volante de dirección



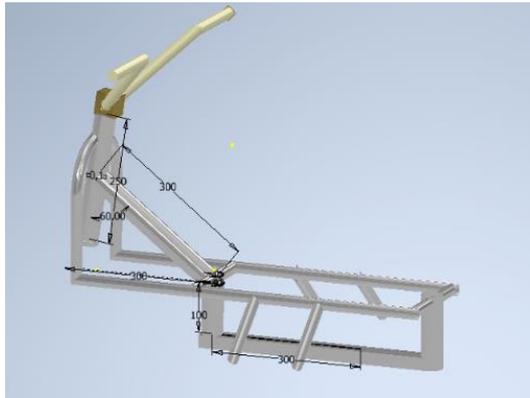
Anexo 2: Prototipo de movilizador para mejorar el ángulo de inclinación del volante.



Anexo 3: Sistema de mejora en la dirección.



Anexo 4: Verificación de medidas de protipo de estructura



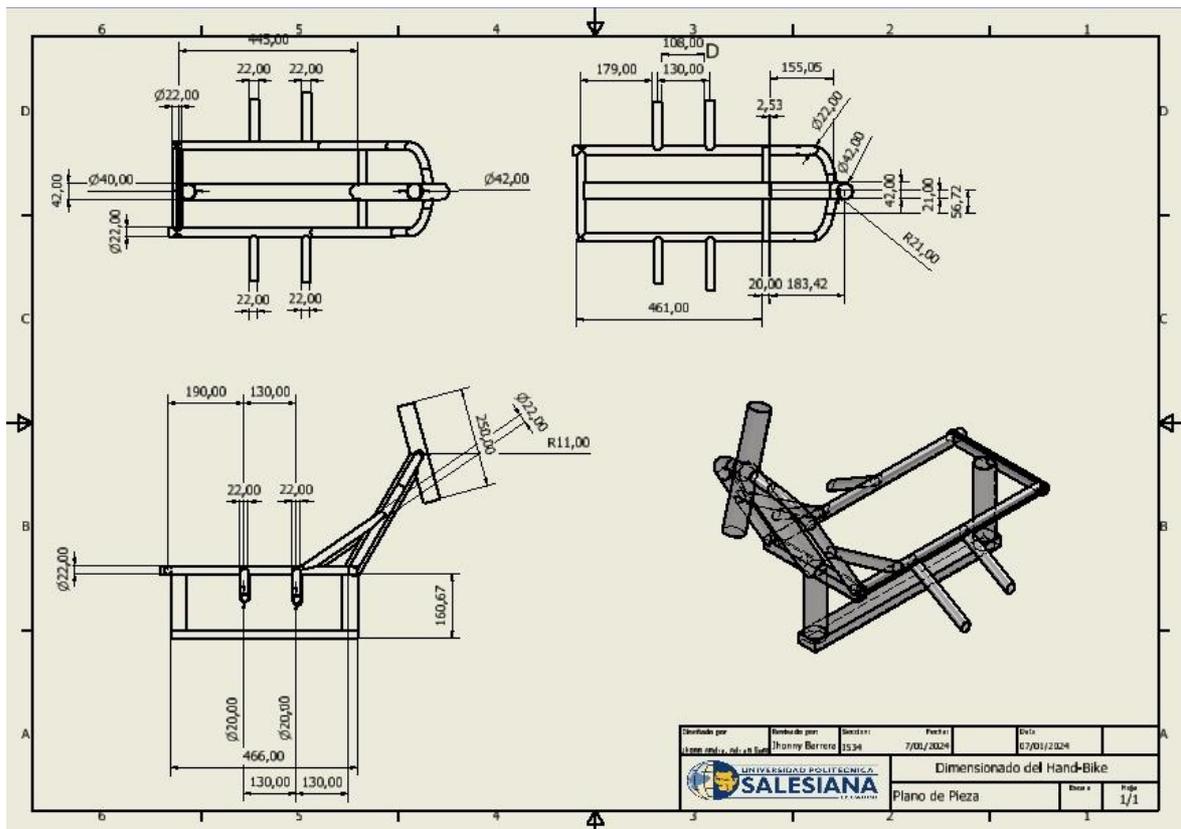
Anexo 5: Proceso de Soldadura de la estructura



Anexo 6: Modificación del sistema de suspensión



Anexo 7: Planos de la estructura del sistema handbike.



Anexo 8: Primer prototipo planteado



Anexo 9: Motor de eléctrico (Brushless)



Fuente: Tienda online de repuestos greenforspeed

Anexo 10: Simulación del funcionamiento del controlador para un motor brushless

