



UNIVERSIDAD UTE

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**DESARROLLO DE UN DISPOSITIVO ELECTROMECAÁNICO
ADAPTABLE PARA EL APOYO DE LA MOVILIDAD DE UNA
SILLA DE RUEDAS CONVENCIONAL**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

CHRISTIAN MAURICIO CAIZA CRIOLLO

DIRECTOR: ING. MIGUEL SANCHEZ

Quito, noviembre 2020

© Universidad UTE 2020.

Reservados todos los derechos de reproducción

FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO
PROYECTO DE TITULACIÓN

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	171958394-8
APELLIDO Y NOMBRES:	CAIZA CRIOLLO CHRISTIAN MAURICIO
DIRECCIÓN:	TURUBAMBA ALTO, PASAJE S26G, CALLE OE3D, S26-62
EMAIL:	coffeehop@outlook.com
TELÉFONO FIJO:	02-2685-097
TELÉFONO MOVIL:	0963311626
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	DESARROLLO DE UN DISPOSITIVO ELECTROMECAÁNICO ADAPTABLE PARA EL APOYO DE LA MOVILIDAD DE UNA SILLA DE RUEDAS CONVENCIONAL
AUTOR O AUTORES:	CHRISTIAN MAURICIO CAIZA CRIOLLO
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	18 de noviembre de 2020
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	ING. MIGUEL SANCHEZ
PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO MECATRÓNICO
RESUMEN: Mínimo 250 palabras	<p>Con la finalidad de brindar apoyo a personas con paraplejia se propuso diseñar y construir un dispositivo electromecánico con un motor eléctrico tipo Brushless, el cual brinda una velocidad máxima de 25km/h y una autonomía de 20 km a carga completa, en condiciones de superficies planas y planos inclinados no mayores a 10 grados. Este dispositivo tiene una batería DC recargable y permite ser enchufado a 110V de DC, convirtiéndole en un dispositivo 100% ecológico, debido a que</p>

usa energía limpia, así mismo tiene un controlador que usa un algoritmo para manipular las variables que intervienen en el movimiento del dispositivo con la silla de ruedas y un potenciómetro para indicar las señales al controlador. Se espera que el prototipo sea incluido en el mercado nacional como una nueva alternativa de movilidad eficiente para personas con paraplejia.

Durante la etapa de diseño se realizó todos los cálculos necesarios que determinaron el material para la construcción del prototipo, priorizando la parte económica, luego de haber obtenido un diseño adecuado se procedió a la construcción con los materiales seleccionados en el diseño y equipos necesarios. En el proceso de construcción se realizó varios cambios en la forma de ensamblar los elementos unos con otros y así lograr finalmente tener una estructura estable, duradera y segura.

En la etapa de prueba, se verifico el correcto funcionamiento del dispositivo en conjunto con la silla de ruedas y el usuario. Llevando a cabo pruebas de aceleración y autonomía para determinar distancia máxima de recorrido con una carga de batería al 100% y tomando en cuenta la geografía del terreno.

Este tipo de dispositivo electrónico puede ser incluido en el mercado como una alternativa de movilidad eficiente y con cero emisiones al medio ambiente, que puede ser recargado con tan solo conectarlo a un toma corriente de 110v AC. Lo cual la carga permite movilizarse con más libertad, más seguridad y más velocidad en las calles. Además, es capaz de movilizarse por rampas que existen como en la ciudad de Quito.

PALABRAS CLAVES:

Brushless, silla de ruedas, controlador motor DC, movilidad asistida, metodología V, autonomía batería DC, integración social.

ABSTRACT:

In order to provide support to people with paraplegia, it was proposed to design and build an electromechanical device with a Brushless electric motor, which provides a

maximum speed of 25km/h and a range of 20 km on full charge, in conditions of flat surfaces and inclined planes no greater than 10 degrees. This device has a rechargeable DC battery and can be plugged into 110V DC, making it a 100% ecological device, since it uses clean energy. It also has a controller that uses an algorithm to manipulate the variables involved in the movement of the device with the wheelchair and a potentiometer to indicate the signals to the controller. The prototype is expected to be included in the national market as a new efficient mobility alternative for people with paraplegia.

During the design stage, all the necessary calculations were made to determine the material for the construction of the prototype, prioritizing the economic part, after having obtained an adequate design, the construction proceeded with the materials selected in the design and the necessary equipment. In the construction process, several changes were made in the way of assembling the elements with each other and thus finally achieve a stable, durable and safe structure.

In the testing stage, the correct functioning of the device was verified in conjunction with the wheelchair and the user. Acceleration and autonomy tests were carried out to determine the maximum travel distance with a 100% battery charge and taking into account the geography of the terrain.

This type of electronic device can be included in the market as an efficient mobility alternative with zero emissions to the environment, which can be recharged by simply plugging it into a 110v AC outlet. This charging allows for more freedom, safety and speed on the streets. In addition, it is able to move on ramps that exist as in the city of Quito.

KEYWORDS

Brushless, wheelchair, DC motor controller, assisted mobility, V methodology, DC battery autonomy, social integration.

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.

CAIZA CRIOLLO CHRISTIAN MAURICIO

1719583948

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **CAIZA CRIOLLO CHRISTIAN MAURICIO**, CI 1719583948 autor del proyecto titulado: **Desarrollo de un Dispositivo Electromecánico Adaptable Para El Apoyo De La Movilidad De Una Silla De Ruedas Convencional** previo a la obtención del título de **GRADO ACADÉMICO COMO APRECE EN EL CERTIFICADO DE EGRESAMIENTO** en la Universidad UTE.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad UTE a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Quito, 18 de noviembre de 2020

CAIZA CRIOLLO CHRISTIAN MAURICIO

1719583948

DECLARACIÓN

Yo **CHRISTIAN MAURICIO CAIZA CRIOLLO**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad UTE puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

CAIZA CRIOLLO CHRISTIAN MAURICIO

1719583948

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título “**Desarrollo de un Dispositivo Electromecánico Adaptable Para El Apoyo De La Movilidad De Una Silla De Ruedas Convencional**”, que, para aspirar al título de **Ingeniero Mecatrónico** fue desarrollado por **Mauricio Caiza**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos.



Ing. Miguel Sánchez

DIRECTOR DEL TRABAJO

C.I. 1804277158

DEDICATORIA

A mis padres, por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

A DIOS, por haberme dado la vida.

A mi padre, gracias por todo el esfuerzo en trabajar para que no me faltara nada y por tu amor.

A mi madre, es lo mucho lo que tengo que agradecerte, mi corazón jamás dejará de amarte.

A mi hermana, te admiro y te amo, deseo para ti lo mejor.

A la Universidad UTE, por las oportunidades que me ha brindado, por el apoyo en los concursos de robótica y todos los conocimientos que me ha otorgado.

A mi director de trabajo, por su continua guía durante transcurso de mis estudios hasta llegar a finalizar este trabajo de titulación.

A mis amigas y amigos, que supieron motivarme y no dejar que me rinda en su respectivo momento.

A mis amigos de movilización del MAG por el apoyo para concluir con este proyecto.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	3
2. METODOLOGÍA	8
2.1. Establecimiento y análisis del problema	9
2.2. Requerimientos	9
2.3. Diseño general del sistema	11
2.4. Diseño mecánico	14
2.4.1. Parámetros para la selección de un motor eléctrico	19
2.4.2. Selección del motor	19
2.4.3. Selección del controlador	20
2.4.4. Diseño de la horquilla del dispositivo	24
2.4.5. Diseño de unión del tubo vertical de la horquilla	26
2.4.6. Diseño de la pipa de la dirección	28
2.4.7. Diseño del mecanismo de conexión con la silla de ruedas	34
2.4.8. Diseño del manubrio	40
2.5. Selección de material	41
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
3.1. Prototipo físico	43
3.2. Pruebas de aceleración	44
3.3. Prueba de autonomía	46
3.4. Precio	48
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	50
4.1. Conclusiones	51
4.2. Recomendaciones	52
BIBLIOGRAFÍA	53
ANEXOS	56

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
Tabla 1. Pesos totales máximos	16
Tabla 2. Modelos y características de los motores Brushless	19
Tabla 3. Modelos y características de controladores para motores sin escobillas	20
Tabla 4. Datos sacados del catálogo de tubos de sección cuadrada	39
Tabla 5. Características de metales	41
Tabla 6. Tiempos en bajada	45
Tabla 7. Tiempos en subida	45
Tabla 8. Voltajes de las cuatro vueltas	47
Tabla 9. Lista de precios	49

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1. Silla de ruedas convencional	5
Figura 2. Scooter	5
Figura 3. Seqway adaptado	6
Figura 4. Handbike eléctrico	6
Figura 5. Pendientes longitudinales	10
Figura 6. Diagrama de requerimientos	12
Figura 7. Diagrama de definición de bloques	12
Figura 8. Estructura general del dispositivo	13
Figura 9. Estructura general del dispositivo	13
Figura 10. Diagrama interno de bloques	14
Figura 11. Diagrama caso de usos	14
Figura 12. DCL de las fuerzas que actúan en una pendiente	15
Figura 13. DCL de las fuerzas que actúan en el punto B	18
Figura 14. Motor brushless MEIANDIAN	20
Figura 15. Controlador KUNRAY	21
Figura 16. Posición de la batería en la parte frontal del dispositivo	21
Figura 17. Acelerador con panel en forma de manillar	22
Figura 18. Disco de freno	22
Figura 19. Manijas de freno	23
Figura 20. Diseño de comunicación entre bloques funcionales del sistema	23
Figura 21. Esquema básico del sistema eléctrico y de control del dispositivo	24
Figura 22. DCL de las fuerzas que actúan en la horquilla	25
Figura 23. DCL de las fuerzas que actúan en el tubo vertical de la horquilla	27
Figura 24. DCL de las fuerzas que actúan en el tubo vertical de la horquilla	29
Figura 25. Valores de K para obtener longitud efectiva	29
Figura 26. Dirección roscada, con cojinete de bolas	34
Figura 27. Detalle del conjunto de anclaje	34
Figura 28. DCL de las fuerzas que actúan en el mecanismo horizontal	35
Figura 29. DCL de las fuerzas que actúan en el mecanismo vertical	36
Figura 30. Descripción conjunto superior	37
Figura 31. DCL del soporte y las fuerzas que actúan sobre él	38
Figura 32. DCL del manubrio y las fuerzas que actúan sobre él	40
Figura 33. Ensamble de componentes y accesorios del prototipo	43
Figura 34. Prototipo físico	43

Figura 35.	Prototipo físico anclado a la silla con el usuario	44
Figura 36.	Calle en la que se realizó las pruebas de aceleración	42
Figura 37.	Ruta establecida para la prueba de autonomía	47
Figura 38.	Prueba de autonomía	48

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
Anexo 1. Modelado de la horquilla	57
Anexo 2. Modelado del tubo para la dirección	58
Anexo 3. Modelado del mecanismo de anclaje del dispositivo con la silla de ruedas	59
Anexo 4. Modelado del telescopio del dispositivo	60
Anexo 5. Modelado del manubrio	61

RESUMEN

Con la finalidad de brindar apoyo a personas con paraplejia se propuso diseñar y construir un dispositivo electromecánico con un motor eléctrico tipo Brushless, el cual brinda una velocidad máxima de 25km/h y una autonomía de 20 km a carga completa, en condiciones de superficies planas y planos inclinados no mayores a 10 grados. Este dispositivo tiene una batería DC recargable y permite ser enchufado a 110V de DC, convirtiéndole en un dispositivo 100% ecológico, debido a que usa energía limpia, así mismo tiene un controlador que usa un algoritmo para manipular las variables que intervienen en el movimiento del dispositivo con la silla de ruedas y un potenciómetro para indicar las señales al controlador. Se espera que el prototipo sea incluido en el mercado nacional como una nueva alternativa de movilidad eficiente para personas con paraplejia.

Durante la etapa de diseño se realizó todos los cálculos necesarios que determinaron el material para la construcción del prototipo, priorizando la parte económica, luego de haber obtenido un diseño adecuado se procedió a la construcción con los materiales seleccionados en el diseño y equipos necesarios. En el proceso de construcción se realizó varios cambios en la forma de ensamblar los elementos unos con otros y así lograr finalmente tener una estructura estable, duradera y segura.

En la etapa de prueba, se verifico el correcto funcionamiento del dispositivo en conjunto con la silla de ruedas y el usuario. Llevando a cabo pruebas de aceleración y autonomía para determinar distancia máxima de recorrido con una carga de batería al 100% y tomando en cuenta la geografía del terreno.

Este tipo de dispositivo electrónico puede ser incluido en el mercado como una alternativa de movilidad eficiente y con cero emisiones al medio ambiente, que puede ser recargado con tan solo conectarlo a un toma corriente de 110v AC. Lo cual la carga permite movilizarse con más libertad, más seguridad y más velocidad en las calles. Además, es capaz de movilizarse por rampas que existen como en la ciudad de Quito.

Palabras Claves: Brushless, silla de ruedas, controlador motor DC, movilidad asistida, metodología V, autonomía batería DC.

ABSTRACT

In order to provide support to people with paraplegia, it was proposed to design and build an electromechanical device with a Brushless electric motor, which provides a maximum speed of 25km/h and a range of 20 km on full charge, in conditions of flat surfaces and inclined planes no greater than 10 degrees. This device has a rechargeable DC battery and can be plugged into 110V DC, making it a 100% ecological device, since it uses clean energy. It also has a controller that uses an algorithm to manipulate the variables involved in the movement of the device with the wheelchair and a potentiometer to indicate the signals to the controller. The prototype is expected to be included in the national market as a new efficient mobility alternative for people with paraplegia.

During the design stage, all the necessary calculations were made to determine the material for the construction of the prototype, prioritizing the economic part, after having obtained an adequate design, the construction proceeded with the materials selected in the design and the necessary equipment. In the construction process, several changes were made in the way of assembling the elements with each other and thus finally achieve a stable, durable and safe structure.

In the testing stage, the correct functioning of the device was verified in conjunction with the wheelchair and the user. Acceleration and autonomy tests were carried out to determine the maximum travel distance with a 100% battery charge and taking into account the geography of the terrain.

This type of electronic device can be included in the market as an efficient mobility alternative with zero emissions to the environment, which can be recharged by simply plugging it into a 110v AC outlet. This charging allows for more freedom, safety and speed on the streets. In addition, it is able to move on ramps that exist as in the city of Quito.

Keywords: Brushless, wheelchair, DC motor controller, assisted mobility, V methodology, DC battery autonomy.

1. INTRODUCCIÓN

La presente investigación se refiere al diseño y construcción de un dispositivo tecnológico electromecánico, para el apoyo de movilización de personas que usan sillas de ruedas convencionales, que se pueda establecer como una alternativa de futuro a la movilidad y el transporte urbano para personas con discapacidad parapléjica.

La característica principal del dispositivo tecnológico se debe a su anclaje ya que es 100% ecológico, pues utiliza una energía limpia y eficiente como lo es la energía eléctrica.

En el Ecuador existe 474.484 personas con algún tipo de discapacidad registradas en el 2020 según la base de datos del Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades (CONADIS). De esta cifra, 218.350 (46.02%) personas con algún tipo de discapacidad física, de esta cantidad 111.293 (23.47%) personas tienen una discapacidad mayor o igual al 50%, indicando que este porcentaje utiliza una silla de ruedas para su movilización.

La investigación de esta problemática se realizó debido a la dificultad de movilización de las personas con discapacidad que usan sillas de ruedas para realizar sus actividades. Existen muchas fundaciones y organizaciones que se preocupan por dar igualdad, confort y facilidad al desplazamiento por los distintos caminos de la ciudad de Quito así mismo como por diferentes ciudades urbanas del Ecuador.

El medio de transporte más usado por personas con paraplejia es las sillas de ruedas, haciendo que una de las innovaciones en medios de transporte unipersonales sea el acceso a los mismos por personas con dicha discapacidad, valiéndose por sus propios medios y facultades físicas, es decir sobre una silla de ruedas y sin ayuda de terceras personas.

De allí la utilidad del estudio del sistema de propulsión electromecánica, previo a cálculos necesarios para la implementación del sistema así mismo como la investigación de las características del motor, batería y controlador que necesitará el dispositivo para que cumpla con la autonomía necesaria a la que está proyectada, y poder seleccionar los componentes correctos que se utilizaran para la construcción y montaje de las mismas.

Este dispositivo es una alternativa al futuro en la movilización ecológica, ya que usa energía limpia y se puede adaptar a todo tipo de silla de ruedas convencional.

La movilidad de las personas representa un hecho fácil de la vida cotidiana donde se refleja la interacción del ser humano con el entorno, esta movilidad representa una dificultad para muchas personas que se encuentran con dificultad de movilidad tales como las personas en sillas de ruedas convencionales. Hoy en día existen dispositivos o sillas que cumple funciones mecánicas impulsadas por un motor eléctrico diseñado con el fin de prestar un servicio a personas discapacitadas, aunque los precios no son tan accesibles para el público con dificultades físicas motoras. (Sandoval, A, 2015).

La presente investigación es llevada a cabo con el fin de diseñar un dispositivo electromecánico el cual sea de utilidad para las personas con discapacidad física en las extremidades inferiores, siendo parte para su movilización, este mecanismo le permitirá desplazarse con facilidad por la misma persona sin que otra persona lo tenga que auxiliar, este diseño se desea que sea accesible para el público en general, especialmente para esas personas con discapacidades motoras de las extremidades inferiores.

Sillas de rueda bimanual

Esta silla puede tener dos motores, uno en cada rueda, para facilitar la propulsión. Tiene dos baterías y se opera con un joystick. En comparación con las sillas de ruedas eléctricas tradicionales, son más ligeras en peso y autonomía, pero, al contrario, es más fácil de plegar y transportar como se puede ver en la figura 1 (Cúe, 2018).



Figura 1. Silla de ruedas convencional (Cúe, 2018)

Silla Moto eléctrica de tres o cuatro ruedas

Es adecuada para quienes pueden caminar, pero no tienen suficiente fuerza o resistencia para hacerlo de acuerdo a sus necesidades. Está controlado por el manillar y tiene apoyabrazos. Es difícil maniobrar en un espacio estrecho, pero el precio es más económico que el de una silla de ruedas eléctrica como se puede ver en la figura 2 (Cúe, 2018).



Figura 2. Scooter (Cúe, 2018)

Segway adaptado

Se han desarrollado adaptaciones para poder ir sentado, convirtiendo en una versión de silla moderna de ruedas eléctricas, el usuario debe tener una movilidad del tronco para poder conducirlo inclinándose más o menos hacia adelante como se ve en la figura 3 (Cúe, 2018).



Figura 3. Seqway adaptado
(Cúe, 2018)

Handbike eléctrico

Es un sistema auxiliar que consta de un manubrio unida al frente de la silla, que puede proporcionar mayor fuerza para sillas de ruedas manuales como se ve en la figura 4, permitiendo tener una mayor autonomía y movilidad en espacios reducidos (Cúe, 2018).



Figura 4. Handbike eléctrico
(Cúe, 2018)

Según la (OMS, 2015), la mayoría de los dispositivos móviles se han creado para permitir la movilización de la persona con discapacidad, asíndolos formar parte del entorno, mejorando sus habilidades y en ocasiones sacándolos de la depresión por la situación que viven, en muchos países los ingresos son muy bajos y no se tienen un acceso a dispositivos de alta gama o calidad, por lo cual acuden a obtener equipos de muy baja calidad que no garantiza su comodidad ni bienestar.

En el diseño y construcción de un prototipo de silla de rueda motorizada de bajo costo para las personas con lesión medular realizada por (Carreño, L, 2015) en la

ciudad de Barranquilla, Colombia, el desarrollo de este dispositivo se caracterizó por su bajo costo y eficiencia ya que se tomaron varios instrumentos de bajo presupuesto para que sea accesible a las personas que no tienen muchos recursos económicos para adquirir una silla de ruedas eléctrica.

En Ecuador en la Universidad Técnica de Ambato el ingeniero en electrónica (Bedon, F, 2017), el estudio realizado proporcionó que la movilización de la silla de ruedas convencional con la instalación de los motores eléctricos solo puede funcionar cuando niveles de la batería son óptimos para el desplazamiento de la misma, al colocarle una batería de mayor potencia aseguro mayor duración en la movilización.

El proyecto de titulación presentado busca cumplir el siguiente objetivo general: Desarrollar un dispositivo electromecánico adaptable para el apoyo de la movilidad de una silla de ruedas convencional. El cual contiene los siguientes objetivos específicos:

Diseñar un sistema mecánico que sea utilizado como estructura para el dispositivo electromecánico.

Seleccionar un controlador que permita el cumplimiento de los requerimientos del sistema.

Validar el funcionamiento del sistema a través de las pruebas a realizar con el dispositivo implementado.

2. METODOLOGÍA

El dispositivo a desarrollarse, a diferencia de otros dispositivos similares, contó con un sistema de anclaje/desanclaje para que el usuario pueda usar su silla de ruedas con el dispositivo o sin el.

A continuación, se describe los pasos a seguir para la elaboración de este dispositivo:

Para la ejecución y desarrollo del dispositivo tecnológico se implementó una metodología como lo es el modelo V, el cual es utilizado para la realización de sistemas mecatrónicos.

- ❖ Reconocimiento del problema.
- ❖ Análisis del problema.
- ❖ Establecimiento de requerimientos. Se definió los requerimientos de acuerdo a la fuente de alimentación, costo, material de construcción, dimensiones, controlador y funcionamiento.

- ❖ Diseño

- i. Diseño general del sistema

Prototipo virtual: se diseñó el dispositivo en una herramienta CAD, con la finalidad de definir la estructura del dispositivo, actuadores y controladores a utilizar.

- ii. Diseño específico

- Diseño mecánico

Mediante una herramienta CAD, se modeló cada parte del dispositivo electromecánico. Se calculó el torque necesario para mover el dispositivo en conjunto con la silla de ruedas y el usuario.

Selección del controlador

Se seleccionó un controlador que permita integrar todos los elementos electrónicos y así dimensionar la batería. La alimentación correspondió al voltaje requerido por el motor y el controlador.

- ❖ Construcción del equipo y pruebas. Se construyó el dispositivo con el material y las dimensiones definidas, el acople en la silla, y se realizó las pruebas necesarias que determinen que el funcionamiento sea el correcto.

2.1. Establecimiento y análisis del problema

Como se menciona en el capítulo I. Introducción, el problema se da en la movilidad de las personas con discapacidad en extremidades inferiores, para lo cual se plantea el uso de un dispositivo electromecánico que le ayude a desplazarse.

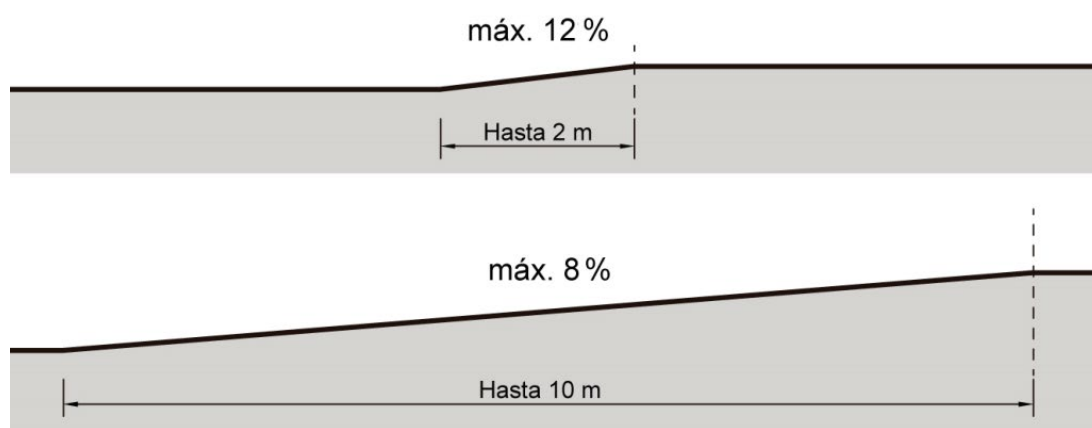
2.2. Requerimientos

En la presente investigación se desarrolló un dispositivo tecnológico el cual permite una mejora en las sillas de ruedas convencionales, cumpliendo con una necesidad para el desplazamiento en terreno plano y superficies inclinadas,

acorde a la normativa INEN 2245,2016-06, el dispositivo podrá movilizar una carga de hasta 110 kg, y se desea que la velocidad máxima que alcance sea de los 12 a 20 km/h, y el mecanismo tecnológico debe ser de fácil montaje/desmontaje dando como resultado un sencillo transporte para el usuario, a eso se suma una batería que tenga la capacidad de aportar la energía necesaria durante un tiempo de 60 minutos a 90 minutos.

Según la normativa INEN de accesibilidad de las personas al medio físico, rampas (INEN 2245, 2016-06), las calles deben contar con una inclinación en las rampas que se construyan o habiliten en los entornos urbanos para facilitar el acceso a las personas. La norma establece que: “Se establecen los siguientes rangos de pendientes longitudinales máximas para los tramos de rampa entre descansos, en función de la extensión de los mismos, medidos en su proyección horizontal.

- a) hasta 10 metros: 8 %,
- b) hasta 2 metros: 12 %,
- c) hasta 3 metros: 12 % en construcciones existentes”



En construcciones existentes:



Figura 5. Pendientes longitudinales
(INEN 2245, 2016-06)

Es por ello que para que el dispositivo sea eficaz al realizar el desplazamiento de la persona, este debe contar con un torque apropiado para que logre alcanzar la velocidad necesaria para que pueda cruzar de forma segura y rápida estas rampas, haciendo de este un propósito a implementar en el diseño.

En la figura 5 se muestran los factores extremos a los que se someterá el dispositivo, los cuales debe ser capaz de superar sin problemas. El dispositivo a realizar debe contar con un precio asequible al público con discapacidad, en cuanto a los requerimientos, debe tener una batería recargable de una duración mínima de 90 minutos, para que realice un desplazamiento con precaución y seguridad de la persona que utilizará el dispositivo, debe tener un freno manual el cual debe ser de disco que tenga eficacia al momento del frenado.

En cuanto al motor debe tener un torque que pueda movilizar de 50 a 110 kg con una velocidad de aproximadamente de 6 a 20 km/h, para ello debe tener un soporte que fortalezca y tenga la capacidad de llevar el peso del motor de aproximadamente 15 a 20 kg y en referencia del peso completo del dispositivo debe ser de 20 kg como máximo ya que lo utilizara una persona con discapacidad física.

2.3. DISEÑO GENERAL DEL SISTEMA

En esta sección se describe el diseño de forma conceptual del dispositivo integrando los diferentes dominios de la mecatrónica (electrónica, programación y mecánico) y sus relaciones.

Recomendaciones para elegir la silla de ruedas para el dispositivo

Peso

- ❖ Debe resistir el peso de 75kg a 100 kg.

Observaciones

- ❖ Debe contar con un ancho de aproximadamente 42 a 45 cm en el asiento y espaldar.
- ❖ Los reposapiés deben ser móviles y no fijo o extraíbles.
- ❖ El cojín debe redistribuir el peso y la fuerza que ejerce el dispositivo.
- ❖ Deben contar con reposa brazos acolchados de una anchura de hasta 10 y 12cm.

Material

- ❖ Si el material es de acero se tornará un poco más pesada la silla de hasta 15 y 20 kg.
- ❖ Si se utiliza una silla de acero ligero contara con un peso de 15 kg.
- ❖ Las sillas fabricadas de aluminio cuentan con el peso de 11kg lo que es de importancia para el dispositivo siendo más ligera la silla menos peso al dispositivo

En la Figura 6 se presenta un diagrama del dispositivo electromecánico, donde se detalla de una forma simplificada las partes que compone el dispositivo.

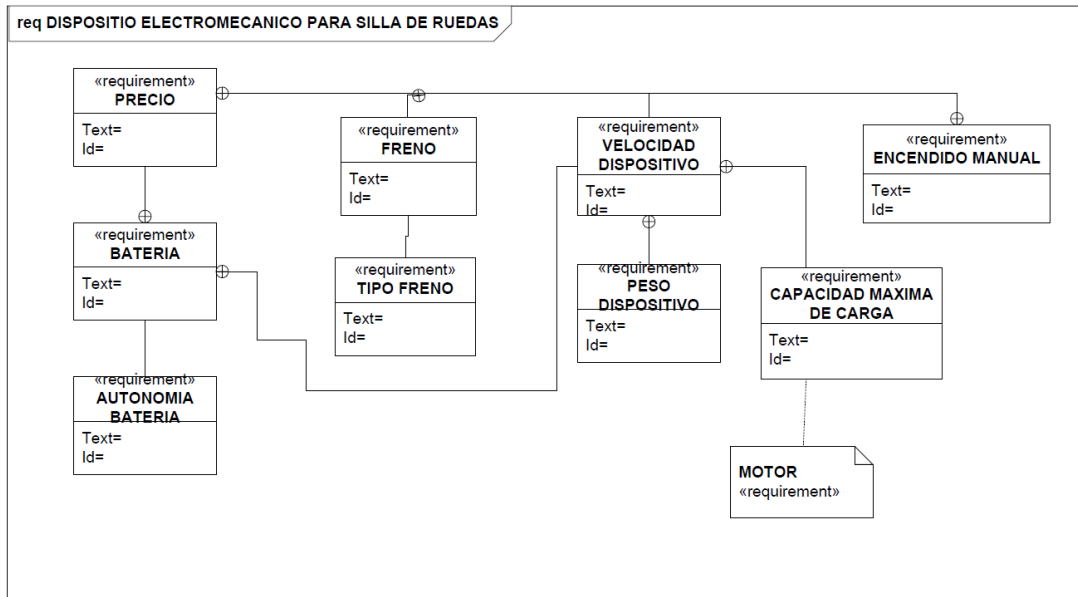


Figura 6. Diagrama de dispositivo electromecánico

El dispositivo tiene partes mecánicas y electrónicas, de acuerdo a su clasificación en la parte eléctrica, además de una batería eléctrica con un voltaje adecuado que suministre 36 V (voltios) y 8,8 amperios hora (Ah), en el encendido del motor se encuentra la facilidad de direccionar el dispositivo, con una placa de control que contenga los botones de on/off sin dejar de mencionar los mandos de arranque.

En referencia a las partes mecánicas el motor debe contar con una estructura que se pueda adaptar siendo montable y desmontable a la silla de ruedas y debe tener un manubrio que permita redirigirlo por la persona como se puede ver en el diagrama de la figura 7.

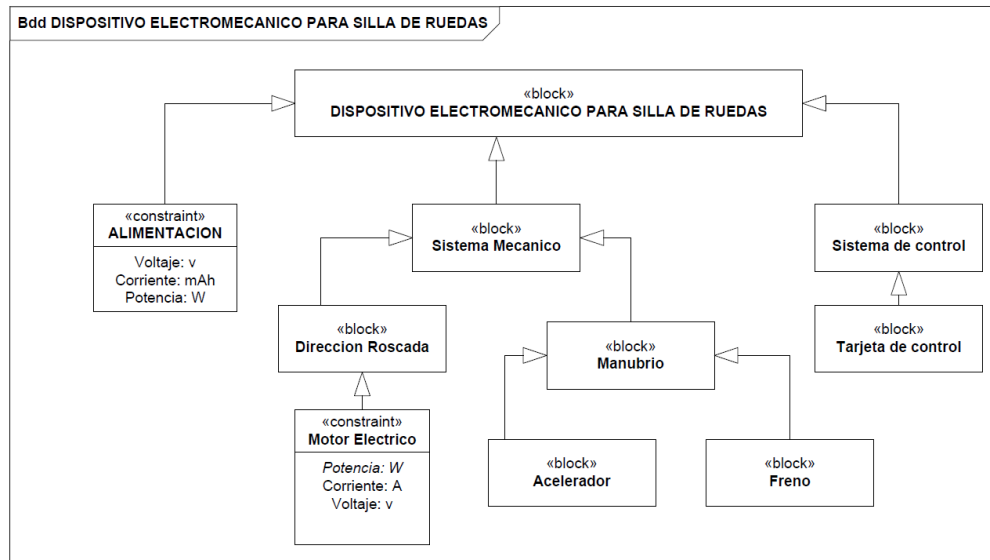


Figura 7. Diagrama de definición de bloques

La figura 8 representa el modelado del dispositivo electromecánico, detallando cada una de las partes principales que conforman la estructura con sus accesorios que permiten su funcionamiento.

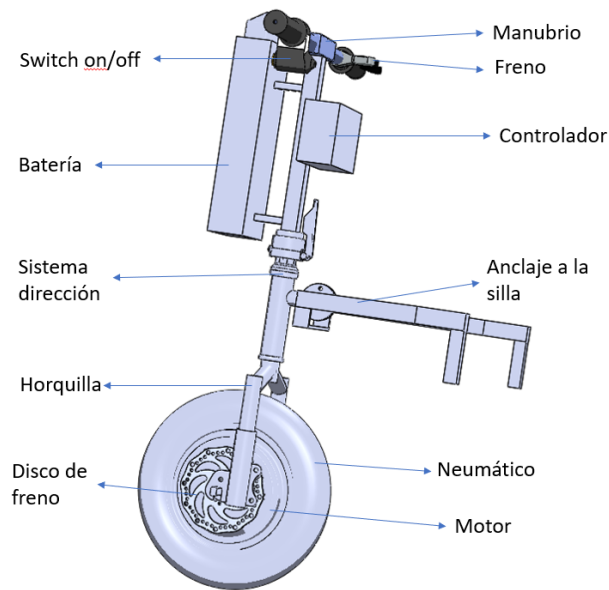


Figura 8. Estructura general del dispositivo

En la figura 9 se representa la ubicación del dispositivo en la silla de ruedas con el usuario en una superficie plana.

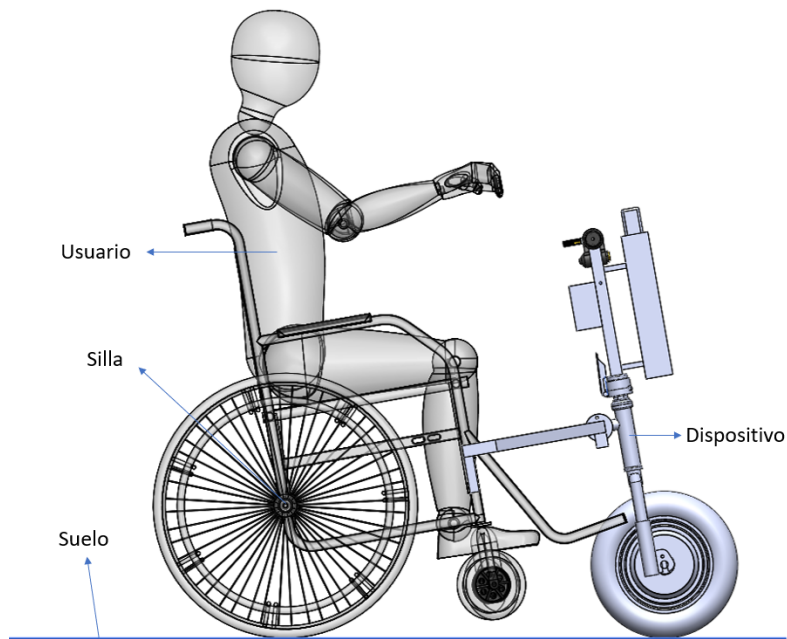


Figura 9. Estructura general del dispositivo

En la figura 10 se mencionan a los componentes que debe tener el dispositivo, los cuales permitan el paso de la alimentación mediante conductores conectados a la placa de control conectados al motor, el cual está enlazado a la llanta permitiendo el arranque al dispositivo, y señalando la relación con cada uno de ellos mediante los terminales representados con flechas.

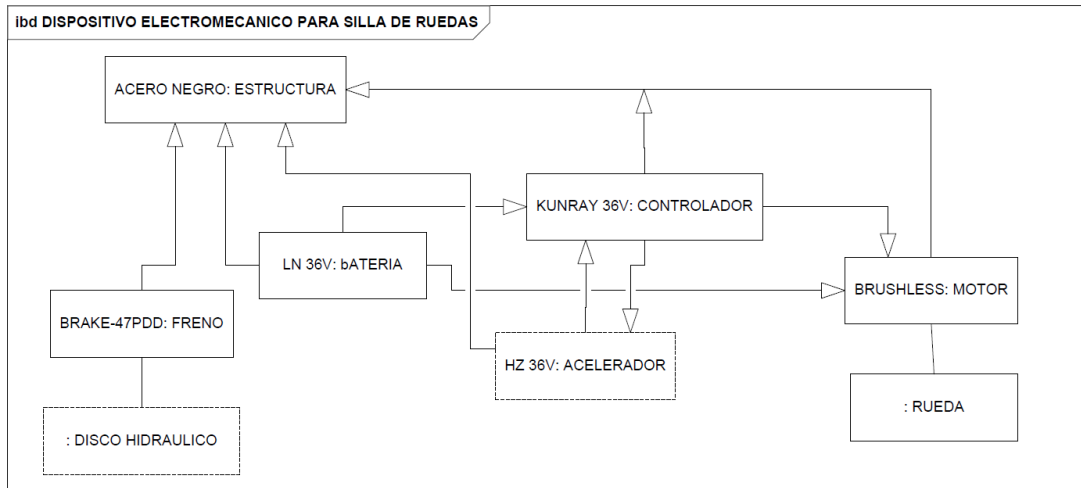


Figura 10. Diagrama interno de bloques

En la figura 11 se detalla la interacción usuario-dispositivo físico. Primero el usuario debe anclar el dispositivo a la silla de ruedas y luego proceder a encender el prototipo utilizando el switch con la llave.

Una vez encendido el dispositivo está listo para movilizar al usuario, cuando este empiece acelerar con en el mando colocado en el volante.

El dispositivo tiene un interfaz que permite monitorear el consumo de corriente de la batería.

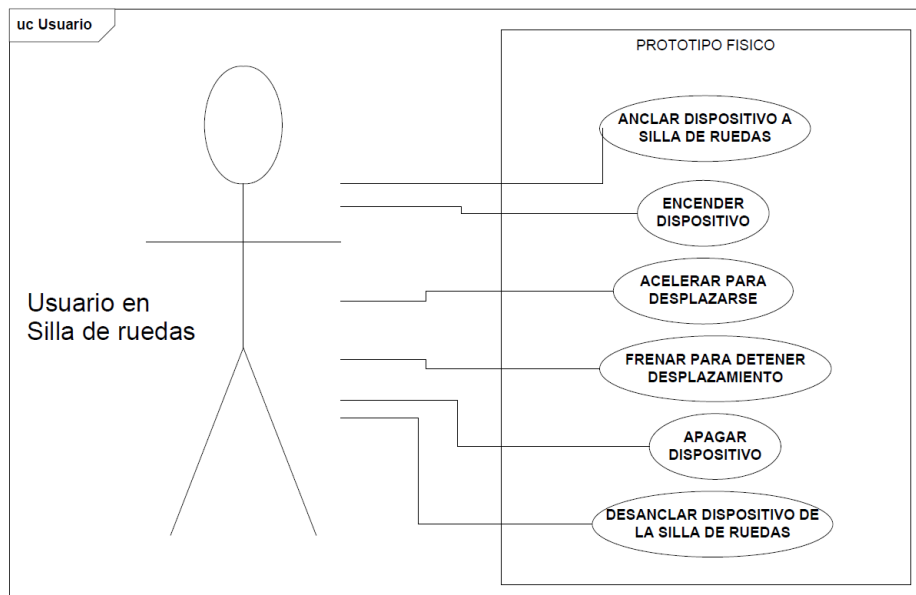


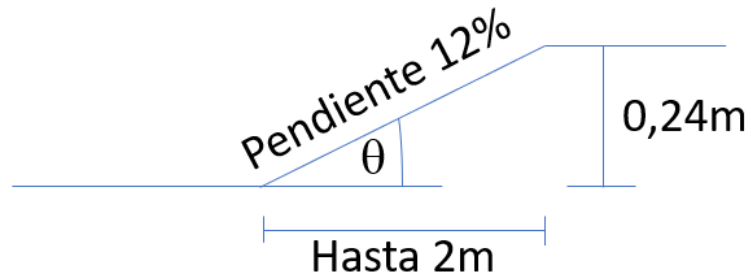
Figura 11. Diagrama caso de usos

2.4. DISEÑO MECÁNICO

Una forma de entender la dinámica de un sistema es la obtención de un modelo matemático, el cual se obtiene utilizando y aplicando las leyes de la física que rigen su comportamiento, como las leyes de Newton para sistemas mecánicos.

Para un buen desempeño del sistema, se realizó los cálculos en una superficie inclinada ascendente como se muestra en la figura 5 parte superior (INEN 2245, 2016-06), que es el escenario más extremo que deberá superar el dispositivo en conjunto con la silla de ruedas y el usuario.

Cálculo del ángulo de la rampa



$\theta = \text{Ángulo de la pendiente en grados. } [^\circ]$

$$\text{tg}\theta = \frac{0.24\text{m}}{2\text{m}}$$

$$\text{tg}\theta = 0.12\text{m}$$

$$\theta = 6.84^\circ$$

El dispositivo debe cumplir con la segunda ley de Newton, que establece: en una superficie inclinada, la sumatoria de todas las fuerzas en el eje x es igual a la masa del cuerpo en movimiento multiplicado por su aceleración.

La figura 12 representa un diagrama de cuerpo libre del sistema, donde se aprecian como actúan las fuerzas en una pendiente.

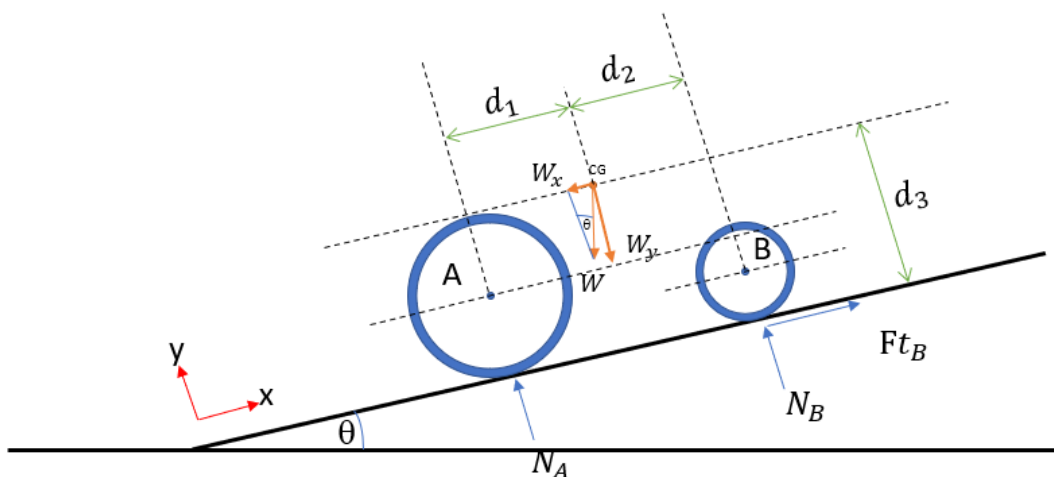


Figura 12. DCL de las fuerzas que actúan en una pendiente

Para el cálculo de la potencia que se necesita para movilizar el dispositivo y a la persona discapacitada con su silla de ruedas, se toma en consideración el peso de cada una de las partes de este proyecto, por lo que en la tabla 1 se detalla las condiciones más exigentes de peso a las cuales va estar expuesto el sistema, además se detalla el peso máximo de carga y peso máximo total.

Tabla 1. Pesos totales máximos

Componentes	Peso en kg
Dispositivo electromecánico	20
Silla de ruedas	20
Pasajero	70
TOTAL	110 kg

Con estos datos se utilizan las siguientes ecuaciones para el cálculo de la fuerza de tracción que es la que impulsa a todo el conjunto.

Para el cálculo de la fuerza de tracción se utilizó la segunda ley de Newton de sumatoria de fuerzas, esta es la fuerza que necesita proveer el motor eléctrico para impulsar a todo el conjunto, la aceleración que se toma para el cálculo es de $0.15 \frac{m}{s^2}$ según (Larminie, 2012) por ser una superficie inclinada que va a subir el dispositivo electromecánico se necesita mantener una aceleración pequeña alcanzando una velocidad promedio de 15 km/h.

$$\sum F_x = m * a_x \quad (1)$$

$$Fr_B - W_x = m * a_x$$

Donde:

Fr_B = Fuerza de rozamiento entre la superficie a rodar y el neumático del dispositivo. [N]

W_x = Fuerza del peso en el eje x. [N]

m = Masa de todo el conjunto a desplazar. (Tabla I)

g = Gravedad $(9,8 \frac{m}{s^2})$

Despejando Fr_B :

$$Fr_B = W_x + (m * a_x) \quad (2)$$

Donde:

$$Fr_B = \mu * N_B$$

$$W_x = (m * g * \sin \theta)$$

μ = coeficiente de rozamiento entre caucho y pavimento (0.25) (Larminie,2013)

Al reemplazar en la ecuación (2)

$$\mu * N_B = (m * g * \sin \theta) + (m * a_x)$$

Se despeja N_B

$$N_B = \frac{m(a_x + g * \sin \theta)}{\mu} \quad (3)$$

Se debe hacer sumatoria de momentos respecto del centro de gravedad del conjunto, para así determinar las fuerzas normales.

$$\sum M_{CG} = I * \alpha ; \alpha = 0$$

$$Fr_B * d_3 + N_B * d_2 - N_A * d_1 = 0$$

Se despeja N_A

$$N_A = \frac{N_B * (\mu * d_3 + d_2)}{d_1} \quad (4)$$

Como resultado se obtiene las siguientes fuerzas normales:

$$N_A = 4522,21 [N]$$

$$N_B = 526,86 [N]$$

Y la fuerza de tracción necesaria para mover el dispositivo con la silla de ruedas y el usuario es:

$$Fr_B = 131,72 [N]$$

Para determinar la potencia y torque necesario se debe realizar el análisis de fuerzas en el punto B como se indica el diagrama de cuerpo libre de la figura 13, utilizando sumatoria de torques. Para lo cual se tiene los siguientes datos:

$$I_B = 0,03 \text{ [Kg} \cdot \text{m}^2\text{]}$$

$$\alpha_B = 0,92 \text{ [rad/s}^2\text{]}$$

$$W_B = 17,05 \text{ [rad/s]}$$

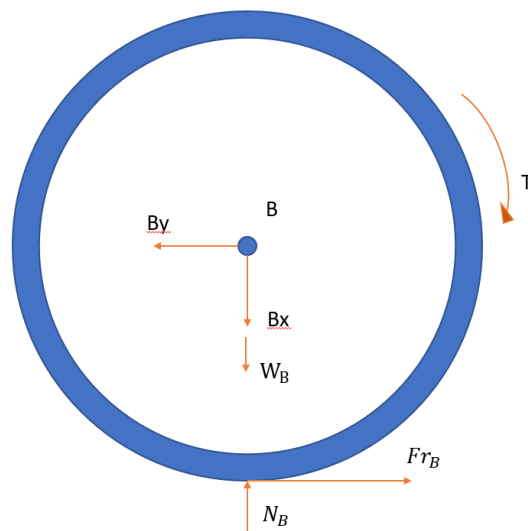


Figura 13. DCL de las fuerzas que actúan en el punto B

$$\sum T = I_B \cdot \alpha_B$$

Donde:

T= torque [N*m]

I= momento de inercia [Kg*m²]

α= aceleración angular [rad/s²]

$$T - Fr_B \cdot r_B = I_B \cdot \alpha_B$$

$$T = I_B \cdot \alpha_B + Fr_B \cdot r_B \quad (5)$$

El toque necesario del motor que va impulsar al dispositivo en conjunto con la silla de ruedas y el usuario es de: 21,4321 [N*m].

La potencia es igual al producto del torque necesario para mover el dispositivo y la velocidad angular que llevara. (la velocidad angular máxima en pendiente 10 km/h= 17,05 rad/s) para este cálculo se utilizará la siguiente ecuación:

$$P_{cal} = T * W_B \quad (6)$$

Donde:

P_{cal} = Potencia calculada [W]

T = Torque [N*m]

W_B = velocidad angular máxima para pendientes del 12% [rad/s]

$$P_{cal} = 365,41 [W]$$

2.4.1. Parámetros para la selección de un motor eléctrico

Para la selección de la potencia y torque del motor a utilizar en el prototipo deberá tenerse en consideración las siguientes características:

- Fuerza de tracción: 131,72 [N]
- Torque necesario: 21,4321 [N*m]
- Potencia calculada: 365,41 [W]

2.4.2. Selección del motor

Con los parámetros obtenidos de torque y potencia del motor que se necesita, las opciones en el mercado de motores Brushless se tiene entre 300 a 500 W de potencia, con lo cual analizando las características de los mismos como: costo y utilidad para cumplir adecuadamente con el trabajo necesario a la que se está diseñando el dispositivo, se seleccionará el motor adecuado con la potencia requerida para este proyecto de acuerdo a las siguientes características, y priorizando el costo del dispositivo.

Tabla 2. Modelos y características de los motores Brushless

TIPO DE MOTOR	VOLTAJE (V)	POTENCIA (W)	EFICIENCIA (%)	VELOCIDAD (Km/h)	PESO (kg)	CAPACIDAD DE CARGA	PRECIO \$
MEIANDIAN Hub Motor	36	400	83%	12-35	3,5	150-200	116,00
Bafag Hub Motor	36	500	80%	32-38	4,5	150-200	173,88
Wheelway	48	800	83%	12-50	6	100	212,03

De acuerdo a la tabla 2 se seleccionó el motor Brushless MEIANDIAN ya que cumple con las características técnicas - mecánicas calculadas y también por cumplir con el principal criterio de hacer un dispositivo más económico. Este componente está colocado concéntricamente en la rueda del dispositivo como se puede ver la figura 14.



Figura 14. Motor brushless MEIANDIAN

2.4.3. Selección del controlador

Para seleccionar el controlador del motor se determinó que tenga las siguientes funciones:

- Funciona con 36v CC y que sea capaz de entregar una corriente de 90 amperios, que es la corriente que el motor consume cuando funciona a su máxima potencia.
- Debe tener sistema de refrigeración para que soporte las altas temperaturas.
- Tener sistema anti rebote de corriente, para cuando el usuario desee dar retro y la corriente no retorne, evitando algún daño.
- Que tenga un precio económico.

En la tabla 3, se muestra una lista de controladores de la cual se seleccionará el que cumpla con todos los requerimientos mencionados.

Tabla 3. Modelos y características de controladores para motores sin escobillas

MARCA	VOLTAJE	CONVERSION DE EFICIENCIA	POTENCIA	PRECIO
EVFITTING	36V	95%	250W	\$ 86,01
EVFITTING	36V	83%	400W	\$ 175,96
TOCAWE	36V	83%	350w	\$ 132,66
KUNRAY	36V	95%	400W	\$ 96,96
KUNRAY	36V	95%	350W	\$ 83,96

El controlador que se seleccionó es el KUNRAY 36V/ 400W, debido a que cumple con los requisitos mínimos necesarios y el precio más conveniente ya que tiene un precio de \$96.96 incluida importación al Ecuador. Este controlador tiene una buena eficiencia, posee control de velocidad del motor, y lo más importante es el pequeño tamaño que tiene, permitiendo ahorrar espacio y peso en todo el sistema. Tiene incorporado el sistema de control y sistema de potencia, como se muestra en la figura 15.



Figura 15. Controlador KUNRAY

La batería que se utilizó para el sistema es una batería de Ion litio de 36v y 8.8 amperios hora. Tiene un peso de 4.2 kg y se la coloco en la parte delantera del dispositivo como se puede observar en la figura 16, lo cual permite que el peso se distribuya a lo largo del cetro de masa. De esta forma se mejoró la estabilidad del dispositivo en conjunto con la silla de ruedas y el usuario.

El cargador de la batería viene incluido con el paquete de la batería, el cual tiene un voltaje de salida de 36v DC, este cargador permite cargar la batería de Ion litio cuando tengas menos del 40% de su carga en 3 horas. Funciona a 110v AC, lo cual es muy útil ya que se puede conectar el cargador en cualquier lugar.



Figura 16. Posición de la batería en la parte frontal del dispositivo

El acelerador que se utilizó (ver la figura 17) para el sistema, es un acelerador de puño con efecto Hall. El sensor por efecto hall funciona midiendo la intensidad del campo magnético que atraviesa la placa Hall. El controlador electrónico se encargará de amplificar la señal de Hall producida y enviará la potencia necesaria al motor para acelerar, dependiendo de cuanto estese girado el acelerador de puño. (Alvite, 2015).



Figura 17. Acelerador con panel en forma de manillar

El freno que se utilizó para el dispositivo es con disco, el cual se activa de forma manual mediante el mando en el manubrio. Al usar este tipo de frenos se tiene un mejor rendimiento en el frenado y seguridad para el usuario, ver figura 18.



Figura 18. Disco de freno

Los frenos se conectan al manubrio de manera similar a una bicicleta común y el disco de freno va ubicado en la rueda delantera como se observa en la figura 19.



Figura 19. Manijas de freno

El dispositivo en conjunto con la silla de ruedas tiene la finalidad de movilizar al usuario por las rutas recreativas y por las vías de las ciudades. Por lo cual se realizó una estrategia de comunicación de bloques de como el sistema debe funcionar para que cumpla los requerimientos, como se muestra en la figura 20.

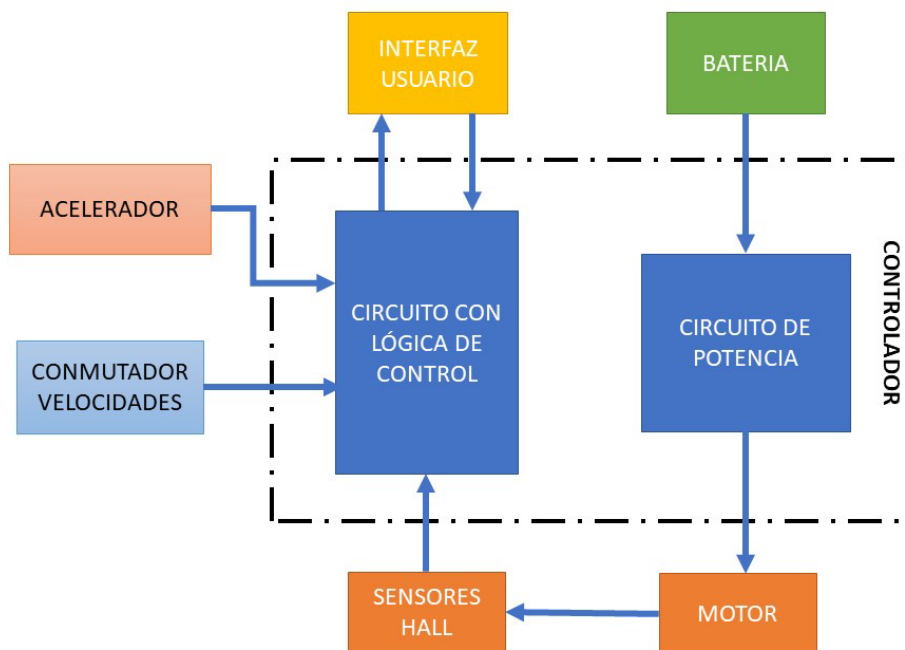


Figura 20. Diseño de comunicación entre bloques funcionales del sistema

El controlador es la parte fundamental pues es el elemento que gestiona todo el sistema. Este consta de dos elementos: el circuito con lógica de control (PIC o microcontrolador), que se encarga de recibir los datos mandados por los sensores y otros elementos del dispositivo, clasificarlos y ordenarlos con una lógica de control; para así dar órdenes oportunas al circuito de potencia que se encarga de tomar la corriente continua de la batería y alimentarla al motor.

Alrededor se observan los otros elementos que se encuentran en el dispositivo que, gestionados por el controlador, son encargados de enviar datos a este. En el caso de la interfaz, se encarga de informar al usuario del estado del sistema. Y el conmutador de velocidades permite tener 3 velocidades diferentes.

El sistema eléctrico de potencia como el sistema de control ha sido principalmente seleccionados de los que existen en el mercado, debido a su bajo precio, eficiencia y tamaño.

En la figura 21, se observa el diagrama eléctrico y de control del dispositivo, en el cual se va utilizar una batería de 36v de corriente continua la cual va alimentar todo el sistema. El dispositivo cuenta con un sistema de iluminación que será activado por un interruptor y tiene un timbre que será accionado por un pulsador, los cuales van en el manubrio.

Para accionar el dispositivo se debe usar una llave para que se energice todo el sistema la cual va estar en el sistema de aceleración. El acelerador permitirá tener el control de velocidad y aceleración del dispositivo en conjunto con la silla de ruedas para que el usuario pueda trasladarse a su voluntad. Por otro lado, el dispositivo tiene un conmutador de 3 posiciones, esto permite cambiar el modo de funcionamiento del controlador, ya sea variando entre distintas configuraciones asignada o escalar alguna de las variables del sistema (corriente, velocidad).

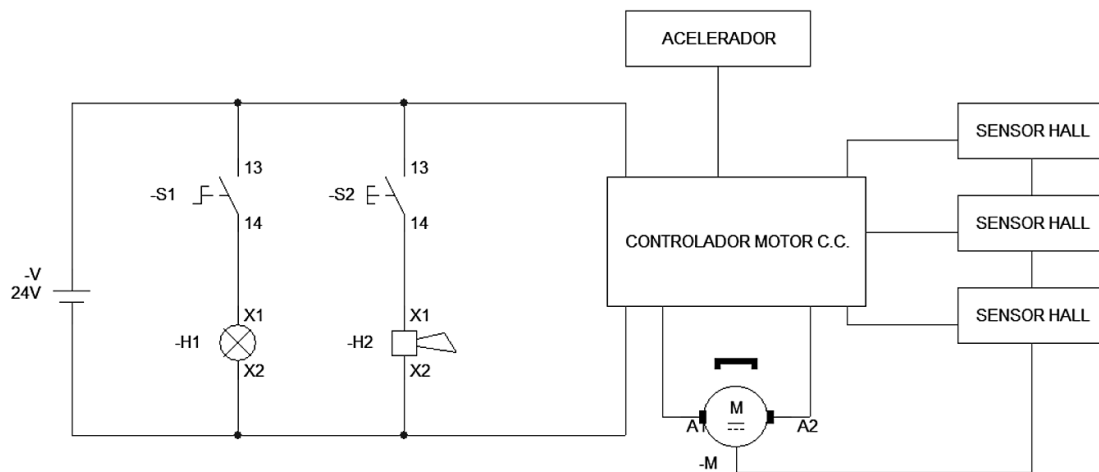


Figura 21. Esquema básico del sistema eléctrico y de control del dispositivo

2.4.4. Diseño de la horquilla del dispositivo

La horquilla es la parte que une la llanta con el sistema de la dirección que llevará este prototipo, para lo cual se debe tener en cuenta las fuerzas calculas y también el valor del factor de diseño (N), se hará el análisis de fuerzas en un lado de la horquilla, debido a que esta es simétrica, para lo cual se utilizó sumatoria de momentos, como se indica en el diagrama de cuerpo libre de la figura 22.

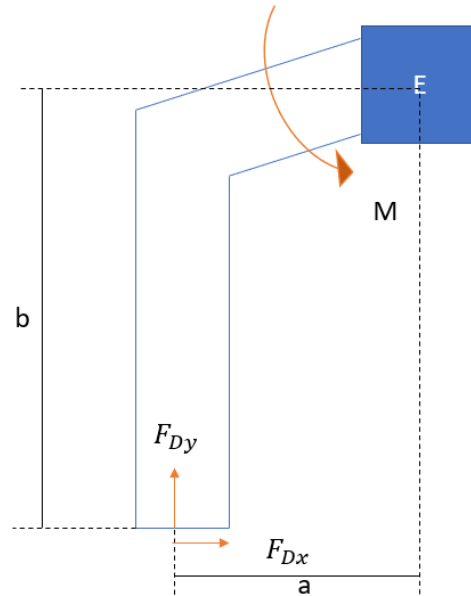


Figura 22. DCL de las fuerzas que actúan en la horquilla

Donde se tiene los siguientes datos:

$$F_{DY} = 472.96 \text{ N}$$

$$F_{DX} = 131.72 \text{ N}$$

$$a = 0.09 \text{ m}$$

$$b = 0.22 \text{ m}$$

Se aplica sumatoria de momentos en el punto "E", el cual es igual a cero debido a que no tiene rotación.

$$\sum M = 0 \tag{7}$$

$$M + F_{DX} * a - F_{DY} * b = 0$$

$$M = F_{DY} * b - F_{DX} * a$$

$$M = 472.96 * 0.22 - 131.72 * 0.09$$

$$M = 93.5136 \text{ Nm}$$

Para determinar que tubo se va a seleccionar en el diseño y elaboración del mecanismo, se debe encontrar el valor de “S” en la siguiente formula:

$$\frac{M}{S} \leq \frac{S_y}{N} \quad (8)$$

Donde:

$$S_y = 3.17 \times 10^8 \text{ N/m}^2$$

$$N = 2.5$$

Se despeja “S” y se sustituye valores:

$$S \geq \frac{M * N}{S_y} \quad (9)$$

$$S \geq \frac{(93.5136 \text{ Nm})(2.5)}{3.17 \times 10^8 \text{ N/m}^2}$$

$$S \geq 0.000000737 \text{ m}^3$$

$$S \geq 0.737 \text{ cm}^3$$

Con el valor calculado de “S”, se selecciona un tubo redondo que sea mayor o igual que el valor obtenido, dando como resultado:

$$S = 0.80 \text{ cm}^3$$

Con el valor de “S” obtenido se escogió del catálogo de CINTAC el Tubo circular de 1 pulgada por 2mm de espesor para los dos lados de la horquilla.

2.4.5. Diseño de unión del tubo vertical de la horquilla

Este componente permitirá unir la horquilla con el sistema de dirección y el volante, para lo cual se realiza la sumatoria de momentos y el cálculo del esfuerzo cortante

al que está sometido este componente, como se indica en el diagrama de cuerpo libre de la figura 23.

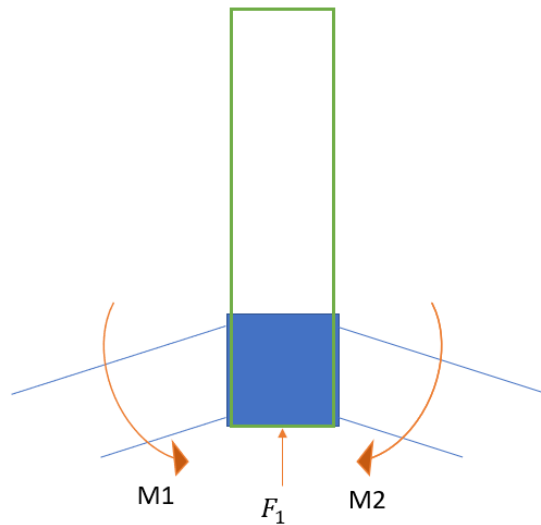


Figura 23. DCL de las fuerzas que actúan en el tubo vertical de la horquilla

Cálculo el esfuerzo cortante

$$\sigma \leq \frac{Sy}{N} \quad (10)$$

$$\sigma \leq \frac{3.17 \times 10^8 \text{ N/m}^2}{2.5}$$

$$\sigma \leq 126800000 \text{ N/m}^2$$

Se realiza la sumatoria de momentos en el cual se tiene los siguientes datos:

$$F_2 = 945.92 \text{ N}$$

$$M_1 = 93.5136 \text{ Nm}$$

$$M_2 = 93.5136 \text{ Nm}$$

Para determinar el valor de "S" se debe utilizar la formula siguiente:

$$\sigma \geq \frac{M}{S} \quad (11)$$

En donde:

$$M = M_1 + M_2$$

$$M = 187.0272 \text{ Nm}$$

Al despejar “S” y remplazar valores:

$$S \geq \frac{M}{\sigma} \quad (12)$$

$$S \geq \frac{187.0272 \text{ Nm}}{126800000 \text{ N/m}^2}$$

$$S \geq 0.00000147 \text{ m}^3$$

$$S \geq 147 \text{ cm}^3$$

Con el valor de “S” obtenido, se selecciona en el catálogo de CINTAC un valor de “S” que sea mayor o igual, dando un tubo estructural redondo de ½ pulgada x 1.5 mm de espesor, para el tubo que une los dos lados de la horquilla. Para el tubo vertical de la horquilla se utilizará el mismo valor de “S” obtenido, del cual se obtiene un tubo estructural redondo de 1 pulgada por 2mm de espesor.

En el anexo 1 se puede observar en conjunto el trinche del dispositivo el cual sirve para colocar el motor y accesorios como el disco de freno.

2.4.6. Diseño de la pipa de la dirección

El tubo de la dirección es parte de la estructura o cuadro y como su nombre lo dice, sostiene o aloja los diferentes componentes de la dirección. La columna o poste de dirección de la horquilla entra a través del tubo de dirección y se sujeta a través del juego de dirección o headset. La dirección o sistema de dirección es el que permite conducir una bicicleta y dirigirla hacia donde se desea.

Para el diseño del tubo de dirección y posterior selección del tipo del juego de dirección, se realizó un análisis de fuerzas a la compresión como se puede observar en la figura 24 y se lo analizó como una columna.

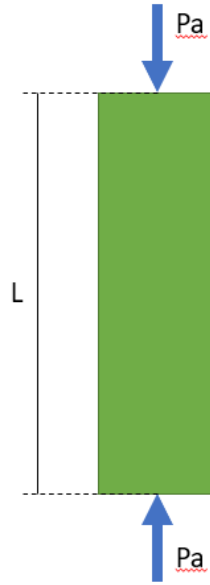


Figura 24. DCL de las fuerzas que actúan en el tubo vertical de la horquilla

Donde:

$$N = 3 \quad K = 0.5$$

N : factor de diseño (se considera 3 por ser columna)

K = constante que depende del extremo fijo, como se ilustra en la figura 25.

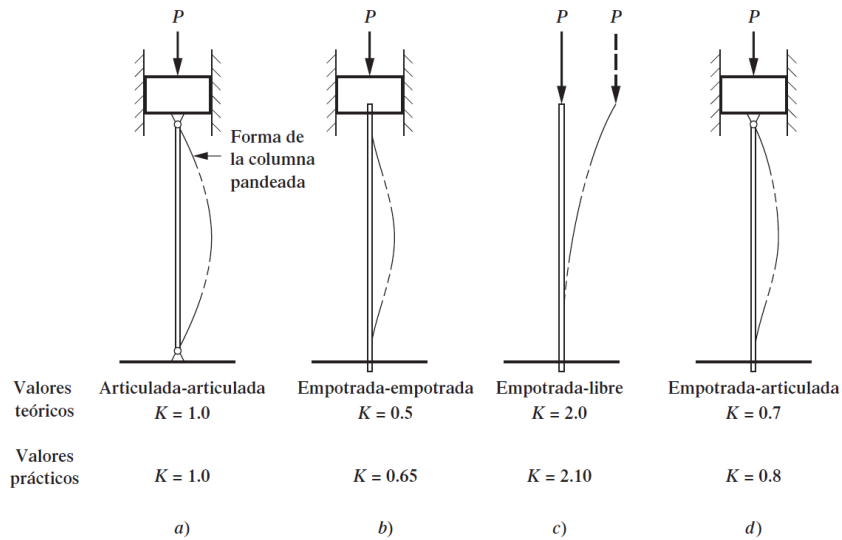


Figura 25. Valores de K para obtener longitud efectiva (Mott, 2015)

$L_e = KL$, para distintas conexiones en los extremos

$$S_y = 3.17 \times 10^8 \text{ N/m}^2$$

$$E = 206842718795.3 \text{ N/m}^2$$

$$L = 130 \text{ mm} = 0.13 \text{ m}$$

Cálculo de la carga aplicada (P_a) y la carga crítica (P_{crit}):

$$P_a = 2F_1 \tag{13}$$

$$P_a = 1891.84 \text{ N}$$

$$P_{crit} = P_a * N \tag{14}$$

$$P_{crit} = 5675.52 \text{ N}$$

Para el análisis se necesita calcular la relación de esbeltez de transición (R_e) y la constante de columna (C_c), para su posterior comparación.

$$R_e = \frac{KL_e}{r_{min}} \tag{15}$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_y}} \tag{16}$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 (2.068427 \times 10^{11} \text{ N/m}^2)}{3.17 \times 10^8 \text{ N/m}^2}}$$

$$C_c = 113.48$$

Se asume una columna larga para lo cual se usa la fórmula de Euler alternativa (Robert L. Mott. Pag.235).

$$P_{crit} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \tag{17}$$

Despejando el momento de inercia "I" y reemplazando datos

$$I = \frac{P_{crit}(KL)^2}{\pi^2 E}$$

$$I = 1.17 \times 10^{-11} m^4$$

Con el valor calculado de I se busca en el catálogo que tubo es el más adecuado, para darle una mejor estabilidad y estética se seleccionó un tubo de 1 1/2 pulgada de diámetro por 1.5mm de espesor del cual se obtiene los siguientes datos para la comprobación de si es columna larga o no.

$$I = 2.09 \text{ cm}^4 = 0.0000000209 \text{ m}^4$$

$$A = 1.72 \text{ cm}^2 = 0.0000000172 \text{ m}^2$$

Se calcula el radio mínimo para determinar la relación de esbeltez y comparar el tubo seleccionado, con la siguiente ecuación:

$$r_{min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{A}} \quad (18)$$

$$r_{min} = \sqrt{\frac{20.9 \times 10^{-9} m^4}{17.2 \times 10^{-9} m^2}}$$

$$r_{min} = 1.10 \text{ m}$$

Al reemplazar el radio mínimo en la fórmula 15 de la relación de esbeltez

$$R_e = \frac{KL}{r_{min}}$$

$$R_e = \frac{(0.5) * (0.13 \text{ m})}{1.102 \text{ m}}$$

$$R_e = 0.059$$

Se realiza la comparación

$$R_e > C_c \quad (19)$$

La relación de esbeltez no es mayor a la constante de columna, con lo que se determina que no es columna larga y por lo tanto se procede a realizar el análisis como columna corta.

Para el análisis de columna corta se utilizará la fórmula de Jonhson

$$P_{crit} = A * Sy \left[1 - \frac{Sy(KL/r_{min})^2}{4\pi^2 E} \right] \quad (20)$$

$$5675.52 N = A \left(3.17 \times 10^8 N/m^2 \right) \left[1 - \frac{(3.17 \times 10^8 N/m^2) \left(\frac{(0.5)(0.13m)}{1.102m} \right)^2}{4\pi^2 (2.068427 \times 10^{11} N/m^2)} \right]$$

$$5675.52 N = A \left(3.17 \times 10^8 N/m^2 \right) (0.999)$$

$$A = 0.0000179 m^2$$

$$A = 0.179 cm^2$$

Con el área calculada se busca en el catálogo el tubo requerido, para dar mayor estabilidad y estética se selecciona el tubo de 1 1/2 pulgada de diámetro por 1.5mm de espesor del cual se obtiene los siguientes datos para la comprobación de si es columna corta.

$$I = 2.09 cm^4 = 0.0000000209 m^4$$

$$A = 1.72 cm^2 = 0.0000000172 m^2$$

Se calcula el radio mínimo con la fórmula 18, para determinar la relación de esbeltez y comparar el tubo seleccionado, con la siguiente ecuación:

$$r_{min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{A}}$$

$$r_{min} = \sqrt{\frac{20.9 \times 10^{-9} m^4}{17.2 \times 10^{-9} m^2}}$$

$$r_{min} = 1.102 \text{ m}$$

Se calcula la relación de esbeltez con la fórmula 15, como se muestra a continuación:

$$R_e = \frac{KL}{r_{min}}$$

$$R_e = \frac{(0.5)(0.13 \text{ m})}{1.102 \text{ m}}$$

$$R_e = 0.63$$

Por lo tanto $R_e < C_c$, se llega a determinar que si es columna corta y que el tubo seleccionado es correcto.

En el Anexo 2 se puede observar el modelado del diseño del tubo de dirección.

Selección de los rodamientos para la dirección

La dirección como de las bicicletas es el mecanismo alojado entre la horquilla y el cuadro que a su vez aloja los rodamientos que posibilitan el giro del tubo de la horquilla permitiendo el movimiento lateral de la rueda delantera y, por lo tanto, el cambio de dirección de la bicicleta.

Para saber qué tipo de rodamiento se debe utilizar, es necesario saber que existen 2 tipos de direcciones en función de la forma de unirlos al cuadro y del tipo de potencia usada. La llamada "roscada" (threaded) y la "no roscada" (threadless) o ahead donde el tubo de la horquilla es totalmente liso, sin rosca alguna. Al hablar de los diferentes tipos de direcciones ahead, se hace referencia a las diferentes maneras de alojar los rodamientos en el cuadro, en función de cómo está construido, a la "pipa de dirección".

Para este dispositivo se selecciona la dirección F-979AW de 1 pulgada roscada como se muestra en la figura 26.

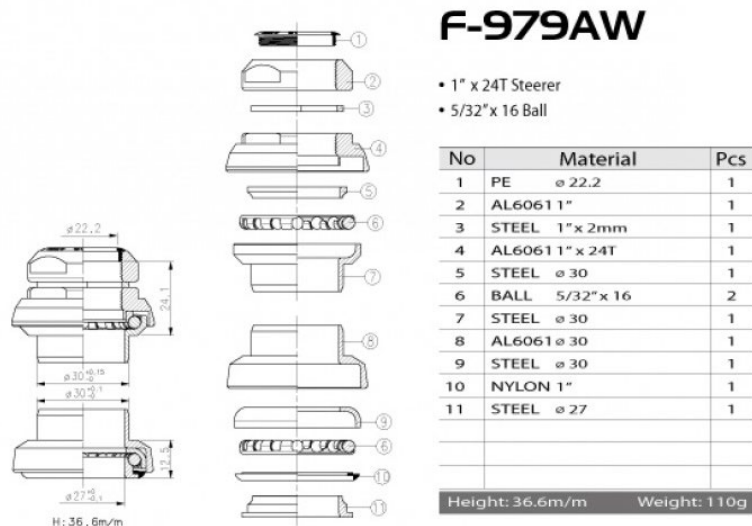


Figura 26. Dirección roscada, con cojinete de bolas (Flowbike, 2020)

2.4.7. Diseño del mecanismo de conexión con la silla de ruedas

El conjunto de anclaje está compuesto por un mecanismo horizontal que se une con el tubo de dirección, un mecanismo vertical que se ancla con la silla de rueda como se indica en la figura 27, permitiendo guiar en la dirección deseada por el usuario. Además, este mecanismo permitirá al usuario anclar y desanclar el dispositivo cada que lo requiera.

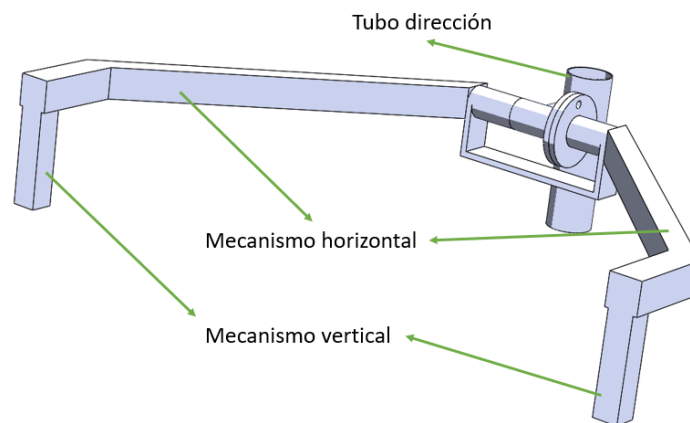


Figura 27. Detalle del conjunto de anclaje

Diseño parte horizontal

El mecanismo que une la silla de ruedas con el dispositivo al sistema de dirección, permitiendo guiar al usuario en la dirección deseada. Además, este mecanismo permitirá al usuario anclar y desanclar el dispositivo cada que lo requiera.

Para el diseño de esta parte horizontal se realiza un análisis como viga, con fuerzas a tensión y para el cálculo se utiliza un factor de diseño (N) igual a 3, como se puede observar en la figura 28.



Figura 28. DCL de las fuerzas que actúan en el mecanismo horizontal

Donde:

F_2 = es la fuerza que va soportar el mecanismo de conexión con la silla

$$F_2 = mg$$

$$F_2 = (100Kg) (9.8 \text{ m/s}^2)$$

$$F_2 = 980 \text{ N}$$

Se utiliza la ecuación de esfuerzo cortante para determinar el área del tubo requerido.

$$\sigma = \frac{F}{A} \leq \frac{Sy}{N} \quad (21)$$

Al despejar A y reemplazar datos, se obtiene:

$$A \geq \frac{F_2 * N}{Sy}$$

$$A \geq \frac{(980 \text{ N})(2.5)}{3.17 \times 10^8 \text{ N/m}^2}$$

$$A \geq 0.000007728 \text{ m}^2$$

$$A \geq 0.07728 \text{ cm}^2$$

Con el área calculada se busca en el catálogo el tubo requerido, para dar mayor estabilidad y estética se selecciona el tubo de 1 pulgada de diámetro por 1.5mm de espesor, del cual se obtiene el área de 1.35 cm², cumpliendo con la desigualdad.

Diseño parte vertical

El mecanismo vertical permitirá fijar al mecanismo horizontal con la silla de ruedas, para tener estabilidad durante el giro. Para el diseño de esta pieza se realizará el

cálculo del momento que se genera debido a la fuerza del peso de todo el conjunto, como se indica en la figura 29.



Figura 29. DCL de las fuerzas que actúan en el mecanismo vertical

Donde:

d_7 = longitud del mecanismo vertical ($d_7= 0.11m$)

F_2 : fuerza del peso que ejerce todo el conjunto sobre el mecanismo vertical ($F=980N$)

M_3 : momento generado por la fuerza del peso (Nm)

Se calcula M_3 con la siguiente formula:

$$M_3 = F_2 * d_7$$

$$M_3 = 980 N * 0.11m$$

$$M_3 = 107.8 Nm$$

Se utiliza la fórmula de resistencia a la fluencia para calcular el módulo de sección "S", como se indica a continuación.

$$\frac{M}{S} \leq \frac{S_y}{N} \tag{22}$$

$$S \geq \frac{M_3 * N}{S_y}$$

$$S \geq \frac{(107.8 Nm) * (2.5)}{3.17 \times 10^8 N/m^2}$$

$$S \geq 0.00000085 m^3$$

$$S \geq 0.85 \text{ cm}^3$$

Se utilizará un eje se sección cuadrada por lo cual se reemplaza el módulo de sección por: $l^3/6$

Donde l es el lado del cuadrado

$$\frac{l^3}{6} \geq 0.85 \text{ cm}^3$$

$$l \geq 1.72 \text{ cm}$$

$$l \geq 17.2 \text{ mm}$$

Con el lado cálculo del eje, en el catálogo se selecciona un eje de $\frac{3}{4}$ de pulgada. Dando así una mayor estabilidad y fijación entre el mecanismo de anclaje y la silla de ruedas.

En el anexo 3 se observa el mecanismo que va unir la silla de ruedas con el dispositivo.

Diseño soporte

El tubo de soporte va unir el volante, la batería y el sistema de dirección, como se indica en la figura 30.

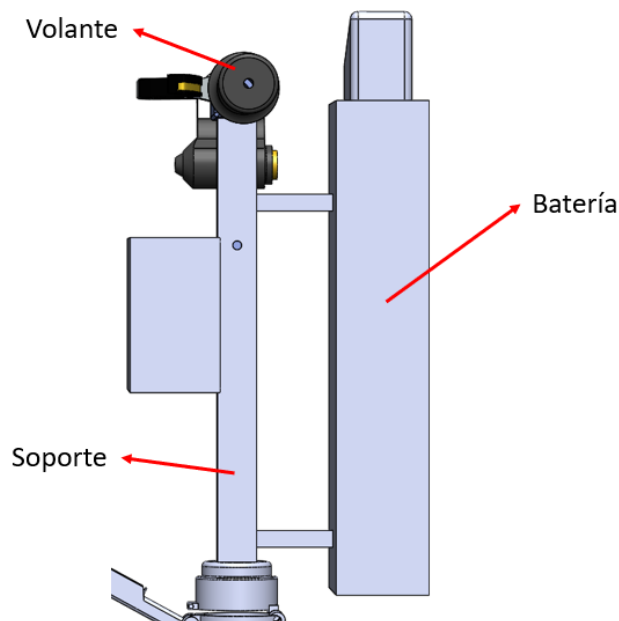


Figura 30. Descripción conjunto superior

Para el cálculo realizaremos el diagrama de cuerpo libre sobre del soporte con las fuerzas que actúan sobre él, como se indica en la figura 31.

Donde:

P_c : fuerza del peso de la batería ($P_c=58,8N$).

d_8 : distancia de la batería y el soporte ($d_8=0,046m$).

M_4 : momento que es generado por la fuerza del peso y la distancia d_8 .

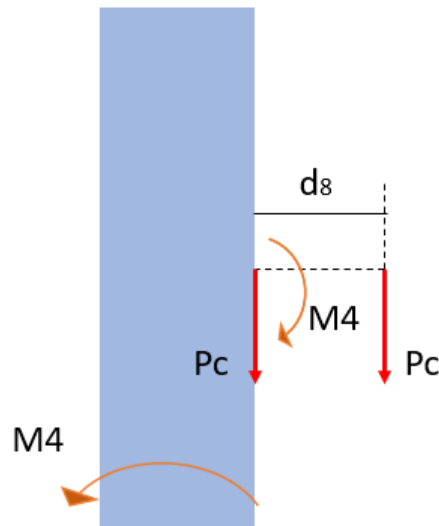


Figura 31. DCL del soporte y las fuerzas que actúan sobre él.

Se calcula el momento M_4

$$M_4 = P_c * d_8$$

$$M_4 = 58,8 N * 0,046m$$

$$M_4 = 2,70 Nm$$

Para determinar que tubo se va a seleccionar para el soporte, se realiza una elección de un tubo al azar con el criterio de experiencia y que tenga una buena estética. Del catálogo de IPAC se selecciona los tubos para obtener el módulo de sección y el área. Luego los valores de los tubos seleccionados se los reemplaza en la ecuación 23, los resultados se comparan y el que cumpla con la relación de la ecuación 23, será el tubo que se debe utilizar para la construcción del soporte.

$$\frac{M_4}{S} + \frac{P_c}{A} \leq \frac{S_y}{N} \quad (23)$$

Luego, del catálogo de IPAC se selecciona un tubo de sección cuadrada y se obtiene los siguientes valores representados en la tabla 4.

Tabla 4. Datos sacados del catálogo de tubos de sección cuadrada

OPCIONES	S	A	PESO
	m ³	m ²	Kg/m
i)	1,11x10 ⁻⁶	135,00x10 ⁻⁶	1,06
ii)	1,18x10 ⁻⁶	174,00x10 ⁻⁶	1,36

(IPAC, 2019)

Se analiza la primera opción reemplazando los valores en la ecuación 23.

$$\frac{2,70 Nm}{1,11 \times 10^{-6} m^3} + \frac{58,8 N}{135 \times 10^{-6} m^2} \leq \frac{3,17 \times 10^8 N/m^2}{2,5}$$

$$2.867.987,983 N/m^2 \leq 126.800.000,00 N/m^2$$

La relación de la ecuación 23 se cumple, por lo cual el tubo seleccionado de 1 pulgada de diámetro por 1,5 mm sirve para este diseño del soporte.

Al analizar la segunda opción y reemplazando los valores en la ecuación 23.

$$\frac{2,70 Nm}{1,18 \times 10^{-6} m^3} + \frac{58,8 N}{174,00 \times 10^{-6} m^2} \leq \frac{3,17 \times 10^8 N/m^2}{2,5}$$

$$2.626.066,628 N/m^2 \leq 126.800.000,00 N/m^2$$

La relación de la ecuación 23 con los datos de la segunda opción si cumple, por lo cual el tubo seleccionado de 1 pulgada de diámetro por 2,00 mm sirve para este diseño del soporte.

Las dos opciones cumplen satisfactoriamente y soportan los esfuerzos a los que va estar sometido esta parte del dispositivo en desarrollo. Para decidir cual tubo usar se va a utilizar el criterio del peso, ya que a mayor peso mayor precio, por lo cual, el tubo de la opción uno tiene un peso de 1.06 kg/m siendo menor al peso de la segunda opción que es de 1,36 kg/m.

Por lo tanto, el tubo seleccionado para el soporte será de 1 pulgada por 1,5 mm de espesor, se sección cuadrada y de acero ASTM A500.

En el Anexo 4 se observa el modelado del soporte para el dispositivo.

2.4.8. Diseño del manubrio

El manubrio es la parte fundamental del dispositivo, este es el que permite controlar el movimiento y dirección. Además, en este elemento van los accesorios como son: el freno, acelerador, switch on/off y las manillas. El diseño de este elemento se lo hace para que tenga una mayor maniobrabilidad debido a su geometría, teniendo una forma recta.

Al elemento se lo analiza como si estuviera empotrado, debido a que va soldado en un extremo, la fuerza que actúa sobre el manubrio por la distancia del elemento es de $F_3=245,00N$ y $d_9=0,21m$ respectivamente, como se indica en el diagrama de cuerpo libre de la figura 32.

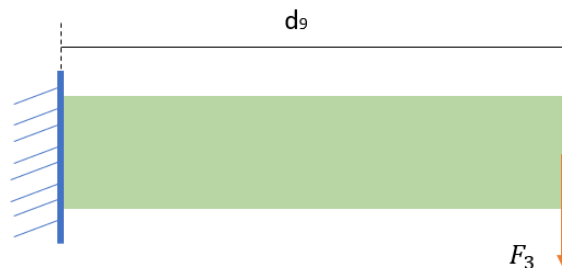


Figura 32. DCL del manubrio y las fuerzas que actúan sobre él.

Al utilizar la fórmula de resistencia a la fluencia para calcular el módulo de sección “S” con el cual se va a determinar en el catálogo que tubo seleccionar, como se indica a continuación.

$$\frac{M}{S} \leq \frac{Sy}{N}$$

$$S \geq \frac{M_5 * N}{Sy} \quad [24]$$

Donde:

$$M_5 = F_2 * d_9$$

$$M_5 = 245,00N * 0.21m$$

$$M_5 = 51,45 Nm$$

Al reemplazar valores en la ecuación 24 para calcular el valor de “S”

$$S \geq \frac{(51,45 \text{ Nm}) * (2,5)}{3,17 \times 10^8 \text{ N/m}^2}$$

$$S \geq 0,000000405 \text{ m}^3$$

$$S \geq 0,406 \text{ cm}^3$$

Con el módulo de sección obtenido en el catálogo se selecciona un tubo redondo de 7/8 pulgadas de diámetro por 1,5 mm de espesor, que tiene una $S=0,47 \text{ cm}^3$.

En el anexo 5 se observa el modelado del manubrio.

2.5. SELECCIÓN DE MATERIAL

Para la selección del material para la estructura se ha tomado en cuenta 3 tipos que son: aluminio, acero y carbono, en la tabla 5, se analizará ciertas características para elegir el material.

Tabla 5. Características de metales

MATERIAL	Precio por Kg (\$)	Densidad (g/cm ³)	Fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)
Aluminio 1050	10	2.7	241	145
Acero negro	1.05	7.85	250	400
Acero inoxidable	2.90	7.8	269	586

Para la construcción de la estructura del dispositivo se decidió utilizar el acero negro, debido a que su precio es más económico, lo cual permite reducir el coste de fabricación.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Prototipo físico

En la figura 33 se muestra el ensamble de todos los componentes y accesorios que conforman el dispositivo diseñado.

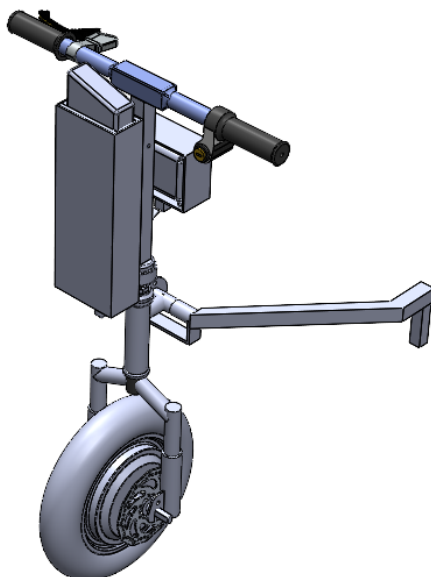


Figura 33. Ensamble de componentes y accesorios del prototipo

En la figura 34 se observa el prototipo físico completo y listo para realizar las pruebas.

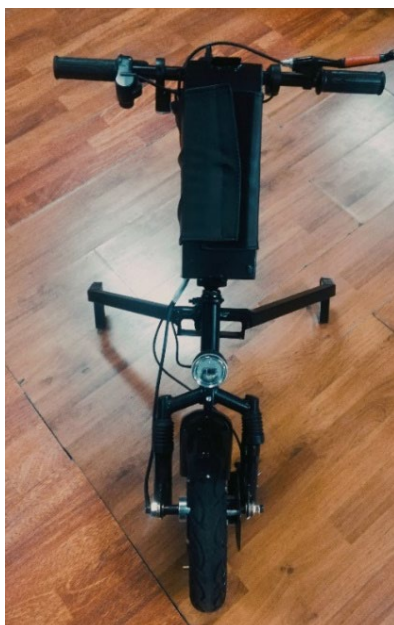


Figura 34. Prototipo físico

En la figura 35 se muestra al usuario usando el dispositivo en su silla de ruedas.



Figura 35. Prototipo físico anclado a la silla con el usuario

3.2. Pruebas de aceleración

La prueba de aceleración del dispositivo electromecánico se la realizo en una calle inclinada con un ángulo de inclinación de 5° , de pavimento de la ciudad de Ambato como se muestra en la figura 36. Esta prueba consiste en determinar el tiempo que el dispositivo electromecánico se demora en recorrer una distancia de 130m.



Figura 36. Calle en la que se realizó las pruebas de aceleración

Al realizar las pruebas se partió del reposo y utilizando el acelerador a fondo tanto en bajada como en subida, se recolecto cinco tiempos de subida y cinco tiempos de bajada con lo cual se hizo un promedio entre ellas y con ese tiempo poder calcular la velocidad y aceleración promedio, como se indica en los siguientes datos:

Tabla 6. Tiempos en bajada

	tiempo cronometrado (s)	tiempo promedio (s)
t1	19,00	18,71
t2	18,35	
t3	18,54	
t4	19,01	
t5	18,67	

Tabla 7. Tiempos en subida

	tiempo cronometrado (s)	tiempo promedio (s)
t1	20,01	19,96
t2	19,87	
t3	19,98	
t4	20,00	
t5	19,96	

Se obtiene que el tiempo promedio de bajada es de 18,71 segundos y el tiempo promedio de subida es de 19,96 segundos.

Para el cálculo de la velocidad se utilizó la siguiente fórmula:

$$V_f = \frac{d}{t_{prom}} \quad (25)$$

Donde:

V_f = velocidad final (m/s)

d = distancia recorrida (m)

t_{prom} = tiempo promedio (s)

En bajada:

$$V_{fb} = \frac{d}{t_{promb}}$$

$$V_{fb} = \frac{130 \text{ m}}{18,714 \text{ s}}$$

En subida:

$$V_{fs} = \frac{d}{t_{proms}}$$

$$V_{fs} = \frac{130 \text{ m}}{19,964 \text{ s}}$$

$$V_{fb} = 6,95 \text{ m/s}$$

$$V_{fs} = 6,51 \text{ m/s}$$

Con los valores de velocidad final de subida y bajada calculados se procede a calcular la aceleración con la siguiente formula:

$$a = \frac{V_f - V_o}{t_f - t_o} \quad (26)$$

Donde:

a= aceleración (m/s²)

t_o= tiempo inicial (s)

t_f= tiempo final (s)

V_o= velocidad inicial (m/s)

V_f= velocidad final (m/s)

En bajada:

$$a_b = \frac{V_{fb} - 0}{t_{fb} - 0}$$

$$a_b = \frac{6,95 \text{ m/s} - 0}{18,714 \text{ s} - 0}$$

$$a_b = 0,37 \text{ m/s}^2$$

En subida:

$$a_s = \frac{V_f - 0}{t_f - 0}$$

$$a_s = \frac{6,51 \text{ m/s} - 0}{19,964 \text{ s} - 0}$$

$$a_s = 0,32 \text{ m/s}^2$$

La prueba de aceleración en una pendiente determino que el dispositivo electromecánico tiene una aceleración de bajada de 0,05 m/s², y una aceleración de subida de 0,32 m/s², con la batería cargada al 100%.

3.3. Prueba de autonomía

La autonomía de dispositivo dependerá de las características de la batería que se use, sabiendo que la capacidad de la batería seleccionada es de 8800mAh. La ruta se estableció en Ambato, con una distancia de 5,2km como se muestra en la figura 37, la trayectoria está conformada por pendientes pronunciadas y calles planas.

Para realizar la prueba de autonomía la batería se cargó al 100%, logrando las pruebas de autonomía dar 4 vueltas a una velocidad máxima de 25 km/h, y recorriendo aproximadamente 20,8 km, cumpliendo así con los requerimientos establecidos.

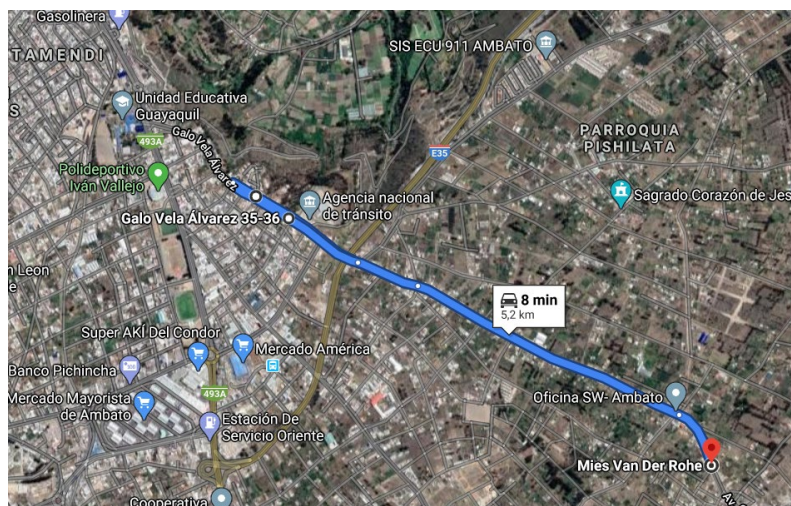


Figura 37. Ruta establecida para la prueba de autonomía. (Google Maps, 2020)

Durante la prueba se fue variando el peso de la persona durante cada vuelta y midiendo voltajes a inicio de cada vuelta y al final de las mismas como se muestra en la tabla 8.

Tabla 8. Voltajes de las cuatro vueltas

Número de vuelta			Diferencia de voltaje
PRIMERA VUELTA	Peso total:	115kg	2 v
	Voltaje inicial:	39,2 v	
	voltaje final:	37,2 v	
SEGUNDA VUELTA	Peso total:	100 kg	1,5 v
	Voltaje inicial:	37,2 v	
	voltaje final:	35,7 v	
TERCERA VUELTA	Peso total:	115 kg	2,9 v
	Voltaje inicial:	35,7 v	
	voltaje final:	32,8 v	
CUARTA VUELTA	Peso total:	100 kg	3,8 v
	Voltaje inicial:	33,7 v	
	voltaje final:	29,9 v	

El tiempo promedio en terminar una vuelta fue de 15 minutos, por lo cual durante las cuatro vueltas el dispositivo alcanzó una autonomía de 60 minutos a una velocidad promedio de 19 km/h en una carretera de asfalto y con pendientes aproximadas a 40 grados como se indica en la figura 38.



Figura 38. Prueba de autonomía en las calles de Ambato (Mauricio, 2020)

Al realizar estas dos pruebas se estableció que a medida de la posición del acelerador varia, el voltaje y la intensidad de corriente también varían directa e inversamente y la diferencia de voltaje se dio en la cuarta vuelta con un valor de 3,8 voltios, por lo tanto el consumo de voltaje desde la primera vuelta a la cuarta vuelta es de 10,2 V, por lo que se recomienda no acelerar al 100% para mantener la autonomía.

El dispositivo diseñado y construido en conjunto con el usuario y silla de ruedas, aprobó con éxito los requerimientos mínimos establecidos para su funcionamiento.

3.4. Precio

El precio de venta al público se fija con los rubros que se detallan en la tabla 9, en la cual se toman en cuenta los materiales, la mano de obra y flete, más los impuestos pagados en aduana para el ingreso al país de los productos, y se

considera un margen de ganancia del 33% para lograr obtener utilidades y cubrir el punto de equilibrio.

Tabla 9. Lista de precios

Concepto/descripción	Precio un.
Batería	\$ 265,00
Motor + neumático +disco de freno	\$ 191,99
Controlador	\$ 96,96
Estructura acero	\$ 230,00
Tornillos y rodelas	\$ 10,00
Cables y conectores	\$ 65,00
Estuche controlador	\$ 25,00
Comandos (acelerador, freno, interruptor de velocidad y luz)	\$ 56,62
SUBTOTAL	\$ 940,57
Ganancia	\$ 310,39
TOTAL	\$ 1.250,96

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Como resultado de la investigación se ha diseñado un dispositivo capaz de acoplarse y desacoplarse a una silla de ruedas convencional, realizando un pequeño acople en la misma.
- El presente trabajo de titulación permitió solventar el inconveniente de movilización de las sillas de ruedas convencionales por calles y rampas, logrando que el operario pueda movilizarse en cualquier espacio del área urbana de la ciudad de Quito y Ambato, lugares en los cuales se realizaron las pruebas pertinentes.
- El prototipo se diseñó en base al modelo Batec Eléctrico 2, con la intención de reducir su costo de fabricación y de adquisición de componentes, de tal forma que sea fácil de fabricar en el Ecuador, convirtiéndolo en un dispositivo de fácil acceso para la economía del país con un 27.8% más barato.
- Se logro superar la velocidad establecida, alcanzado a una velocidad máxima de 27km/h en bajada y 24km/h en subida, con una velocidad promedio de 25.02 km/h en bajada y de 23.45km/h en subida, alcanzado una distancia de 21km con una sola carga de la batería al 100%.
- La capacidad al subir pendientes con una inclinación mayores a 15 grados la autonomía de la batería disminuye, debido a que el consumo de corriente es de 0.36 amperios durante estas trayectorias, mientras en las trayectorias planas el consumo es de 0.05 amperios. Por lo cual el subir planos inclinados mayores a 15 grados forzaría la demanda de corriente del controlador y podría terminar quemando este componente.
- Se recomienda seleccionar el motor adecuado en función del peso de la silla de ruedas y el usuario, ya que a mayor peso mayor consumo de corriente necesaria para el funcionamiento óptimo del equipo.

RECOMENDACIONES

- A partir de las conclusiones obtenidas en la presente tesis se sugiere tomar en cuenta en el diseño la fuerza del aire y como puede llegar afectar esta variable en el movimiento y en la selección del motor y controlador.
- Para mejorar la autonomía del dispositivo se recomienda adquirir una batería de mayor amperaje manteniendo el mismo voltaje de alimentación.
- Se recomienda mejorar el mecanismo de anclaje para que el usuario pueda conectar de una manera más fácil la silla de ruedas con el dispositivo electromecánico, ya que actualmente el usuario necesita de una persona para conectar el dispositivo con la silla de ruedas.
- La ergonomía es importante al momento de usar dispositivos por un tiempo prolongado de 15 minutos por lo cual se recomienda hacer un diseño mas ergonómico para que no sufra el usuario cansancio durante la conducción en sus extremidades o sufra lesiones por fatiga.
- El dispositivo tiene una velocidad máxima de 27 km/h, por lo cual se recomienda que el freno no solo sea de disco, sino que a la vez sea electrónico permitiendo tener una mejor frenada y seguridad para el usuario
- El dispositivo permite al usuario tener una movilidad más libre y en lugares reducidos, pero para mejorar la movilidad del usuario se recomienda instalar el modo retro.
- Con el avance en la movilidad de las personas dentro de las ciudades este tipo de dispositivos serán tomados en cuenta para ayudar en el transporte de personas con discapacidad, que debido a las condiciones de la ciudad de Quito es difícil trasladarse de lo largo del Distrito, por lo cual se recomienda socializar con los GADs Municipales el uso de este dispositivo para establecer rutas por las cuales se pueda transitar con seguridad.

BIBLIOGRAFÍA

- Acero, G. H. (1994). Convertidores electromecánicos de energía. Marcombo.
- Arias, M., Velarde, S. y Osmar, A., (2019), *Silla de ruedas controlada por sensores inerciales*, [Trabajo de Fin de Grado, Universidad de las Américas], de <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/11789>
- Beer, F., Jonhston, R., Mazurek, D., y Eissemerg, E., (2017), *Mecánica Vectorial para Ingenieros*, 9ª edición. Editorial McGraw Hill
- Bedón, F., (2017), *Sistema de control para la movilidad y extensión de una silla de ruedas Eléctrica de bipedestación*, [Trabajo de Fin de Grado, Universidad Técnica de Ambato], de <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/26094>
- Budynas R., Nisbert K., (2015), *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*, 9ª edición. Editorial McGraw Hill 621.7 BUD dis
- 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). <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaaereo.532>
- COCEMFE, (2014), *accesibilidad*, recuperado el 28 de 01 de 2019, de <https://cocemfecyl.es/que-hacemos/accesibilidad/>
- Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades, (2018), *Estadísticas de Discapacidad*, Recuperado el 08 de agosto de 2018, de <https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadisticas-de-discapacidad/>
- Cúe, J., (2018), *Diseño e implementación de una interfaz electromecánica para el manejo de sillas de ruedas monitorizadas*, [Trabajo de Fin de Grado, Universidad Politécnica de Madrid], de <http://oa.upm.es/49668/>
- Defas, M., (2018), *Diseño y construcción de un prototipo de silla de ruedas eléctrica, aplicando motores brushless sin escobillas (outrunner)*, [Trabajo de Fin de Grado, Universidad Técnica del Norte], de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/8565>
- Diaz, M. V., Fernández Sierra, J. E., Ciro Graciano, A. F., Cortez Vásquez, A., Calle Soto, M. A., & González, Á. (2019). Dispositivo electromecánico para estudiantes con movilidad reducida.
- Estrada, G., (2019), *Sistema de asistencia a la propulsión para sillas de ruedas convencionales*, [Trabajo de Fin de Grado, Universidad EIA], de <https://repository.eia.edu.co/handle/11190/2460>

- Herrera, D. P., Llanes, C. M. R., Manuel, A., Menéndez, G., & Correa, D. A. F. (2014). Implementación de un controlador para mejorar la autonomía de la bicicleta eléctrica Minerva de 500 W. *Fact. De Ing. Eléctrica*, Cujae.
- Hibbeler, R., (2017), *mecánica de materiales*, 9ª edición. Editorial Pearson Prentice Hall México
- IPAC, (2019), *catalogo IPAC*, disponible en http://www.ipac-acero.com/revista-digital/CatalogoIPAC_2019.pdf
- Larminie, J., y Lowry, J. (2012). *Electric vehicle technology explained*. Chichester: Wiley.
- López, Daniel, & Mideros, Daniel. (2018). Diseño de un sistema inteligente y compacto de iluminación. *Enfoque UTE*, 9(1), 226-235. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n1.283>
- Mott, R., (2015), *Diseño de elementos de máquina*. Editorial Pearson Prentice Hall México 9789702608127
- Organización Mundial de la Salud, (2015), *Dispositivos y tecnologías de apoyo a las personas con discapacidad*. Recuperado el 20 de enero de 2020, de <https://www.who.int/disabilities/technology/es/>
- Pérez, L., (2015), Guía del vehículo eléctrico II, *Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid*, 123-141, <https://www.fenercom.com/wp-content/uploads/2015/04/Guia-del-Vehiculo-Elctrico-II-fenercom-2015.pdf>
- Ponce, R, Mosquera G., Velarde, P. and Moya, M., (2018), Design and Construction of an Automatic Transport System Inside the Home for People with Reduced Mobility, *International Conference on Information Systems and Computer Science (INCISCOS)*, 88-93. 10.1109/INCISCOS.2018.00021.
- Sánchez, M., Bonilla, V., Moya, M. and Mosquera, G., (2017), Analysis and Construction of a Mobile Robot for Search and Mitigation of Low-Scale Fire, *International Conference on Information Systems and Computer Science (INCISCOS)*, 100-107. 10.1109/INCISCOS.2017.49.
- Sandoval, Andrés & Carreño, Mónica & Espiritu, Miguel & Durán, Israel & Chávez, Aarón. (2015). Construcción de un prototipo de silla de ruedas motorizada de bajo costo para personas con lesión medular. *Research in Computing Science*. 108. 135-142. 10.13053/rcs-108-1-15.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización, NTE INEN 2245, (2016), *Acceso de medio físico. Rampas*, obtenido de <http://apps.normalizacion.gob.ec/download/index.php/buscar>
- Tambaco, O., (2017), *Construcción de una silla de ruedas eléctrica para bipedestación*, [Trabajo de Fin de Grado, Universidad Técnica del Norte], de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/7205>

- Valle, I., (2014), *Sillas de ruedas eléctricas. Opciones de mandos de control y cambios de postura*, [Trabajo de Fin de Grado, Madrid Centro de Referencia Estatal de Autonomía Personal y Ayudas Técnicas-CEAPAT], <http://hdl.handle.net/11181/4995>
- Vargas, M., (2015), *Diseño y construcción del sistema de propulsión de un triciclo monoplaza eléctrico para personas con discapacidad en sus extremidades inferiores*, [Trabajo de Fin de Grado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga], de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/10602>

ANEXOS

1

2

3

4

5

6

7

8

A

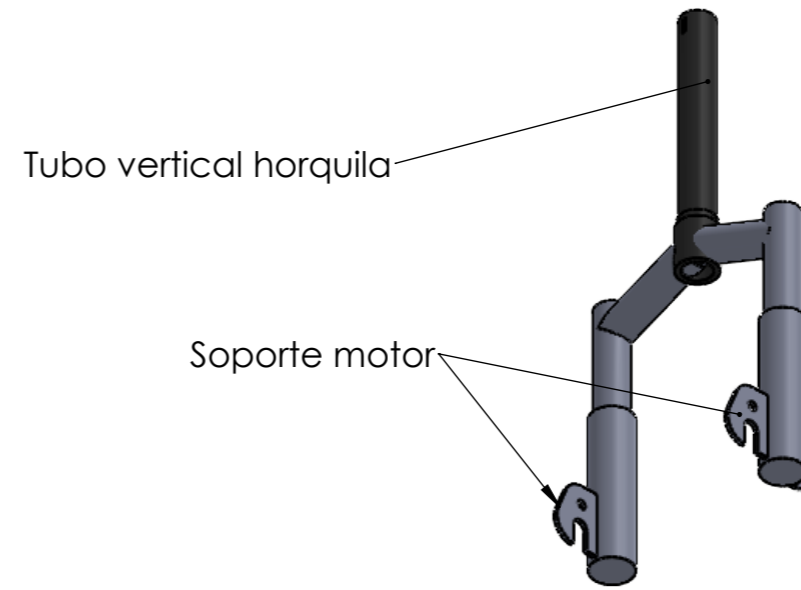
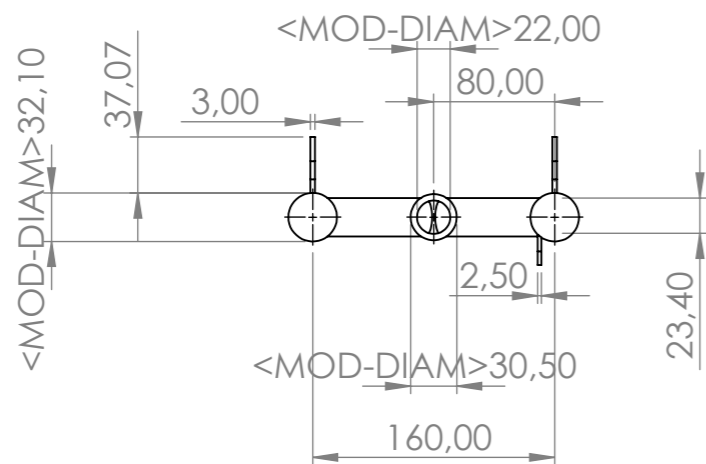
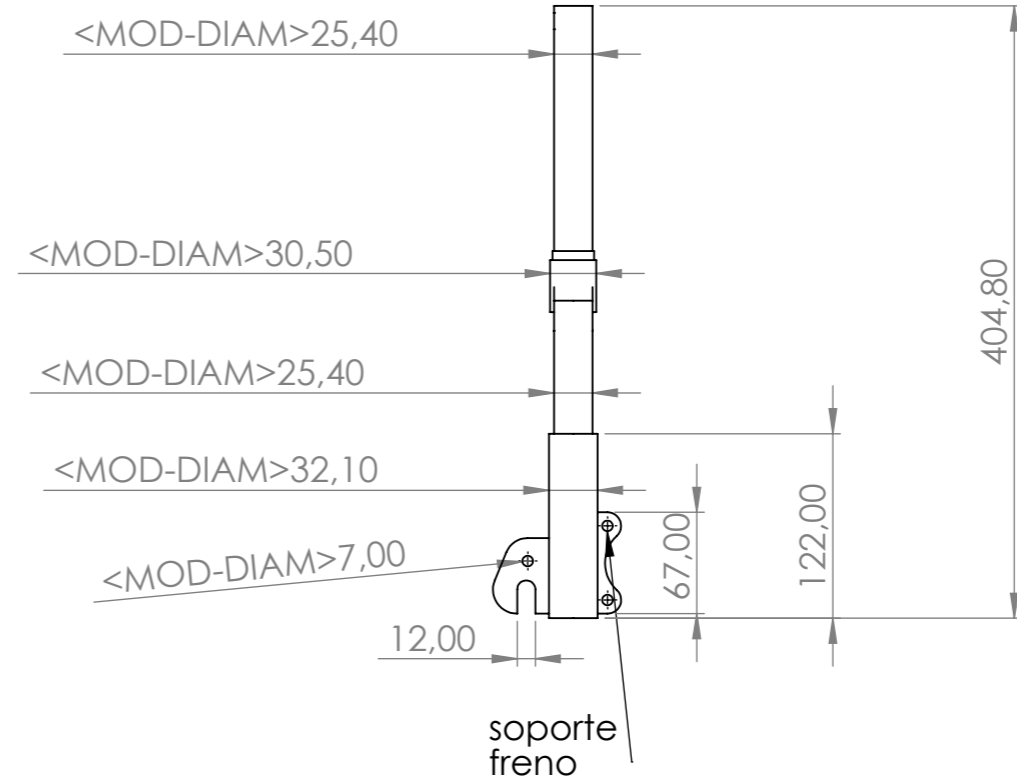
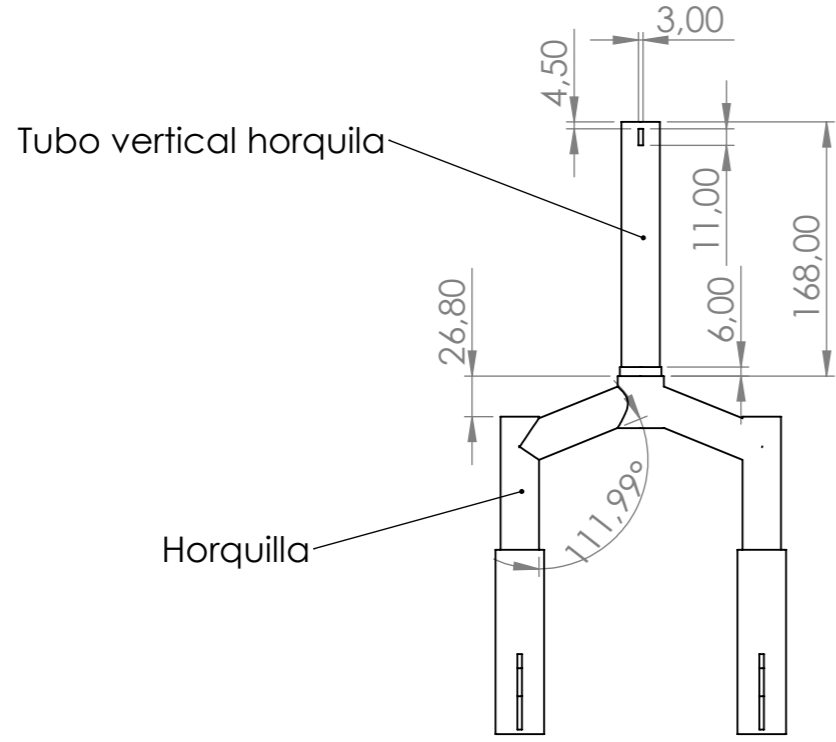
B

C

D

E

F



				TOLERANCIA:	PESO [Kg]:	MATERIAL:	
				0.1	2.55	Acero Negro	
				Fecha	Nombre	Horquilla	ESCALA:
			Dibujado	19/10/2020	Mauricio Caiza		1:5
			Revisado				
			Aprobado				
				FIRMA / EMPRESA:		DIBUJO Nº:	HOJA:
							A3
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

1

2

3

4

A

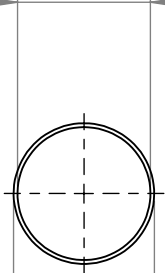
B

C

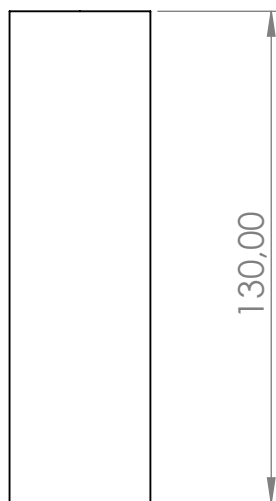
D

E

<MOD-DIAM>35,15



<MOD-DIAM>37,20



TOLERANCIA:

PESO [Kg]:

MATERIAL:

0.1

0.25

Acero Negro

Fecha

Nombre

Dibujado 19/10/2020

Mauricio Caiza

Revisado

Aprobado

Tubo Dirección

ESCALA:

1:2

FIRMA / EMPRESA:

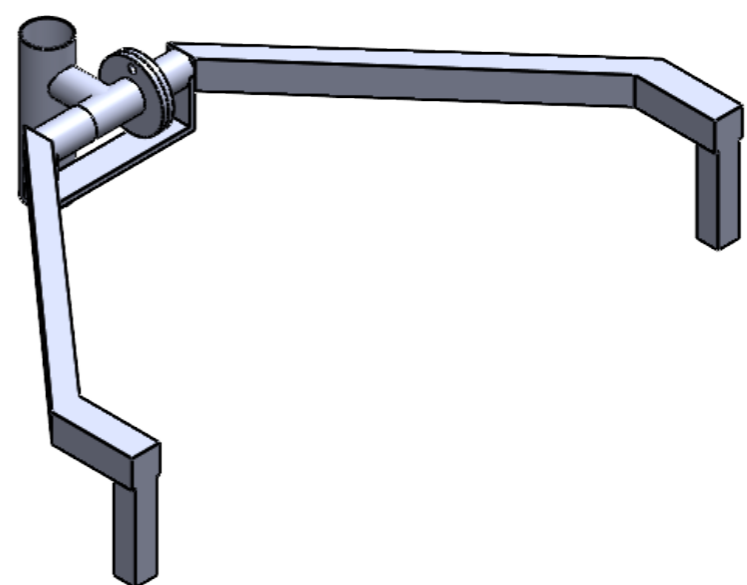
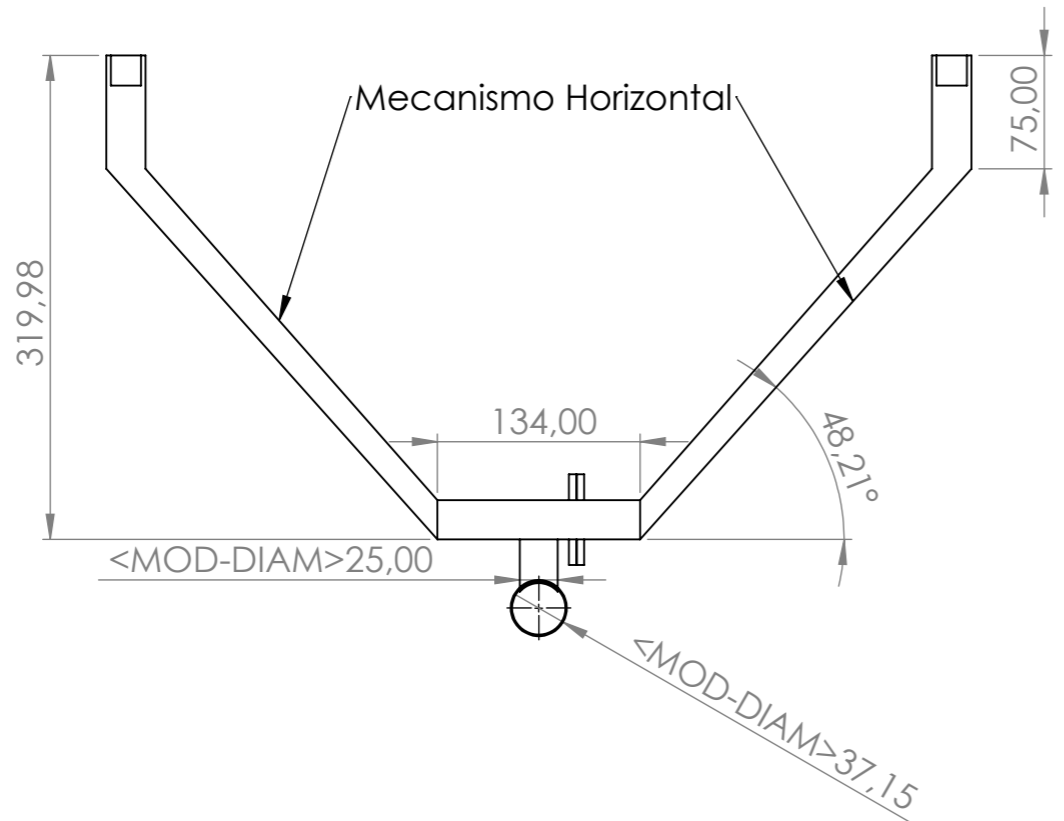
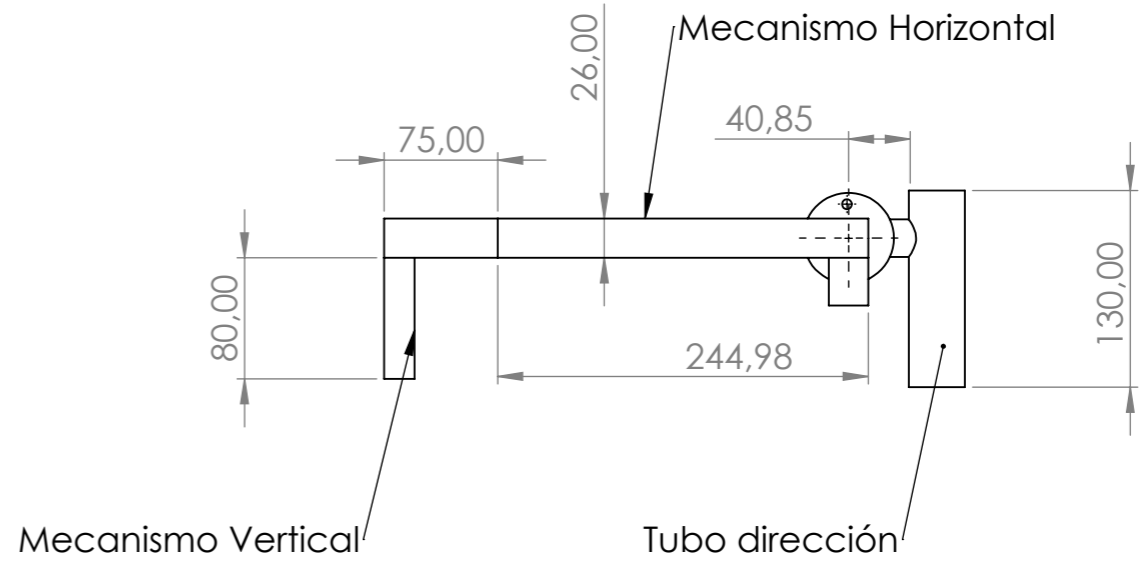
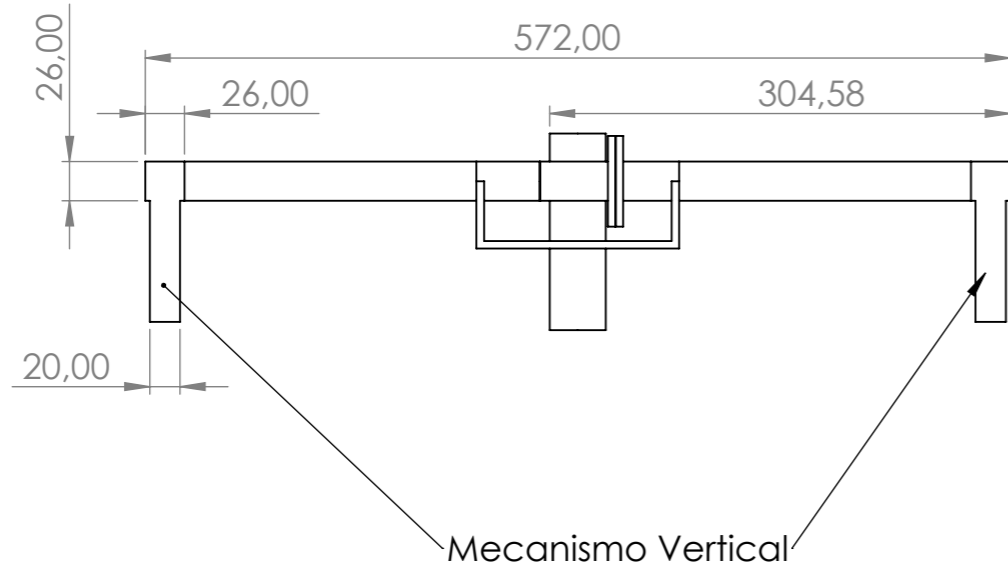
DIBUJO Nº:

HOJA:



A4

Edición	Modificación	Fecha	Nombre



				TOLERANCIA:	PESO [Kg]:	MATERIAL:	
				0.1	2.9	Acero Negro	
				Fecha	Nombre	<h1>Mecanismo Anclaje</h1>	
				Dibujado 19/10/2020	Mauricio Caiza		
				Revisado			
				Aprobado		ESCALA:	
				FIRMA / EMPRESA:		HOJA:	
						1:5	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			A3	

1

2

3

4

5

6

7

8

A

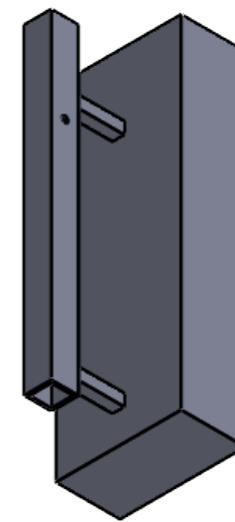
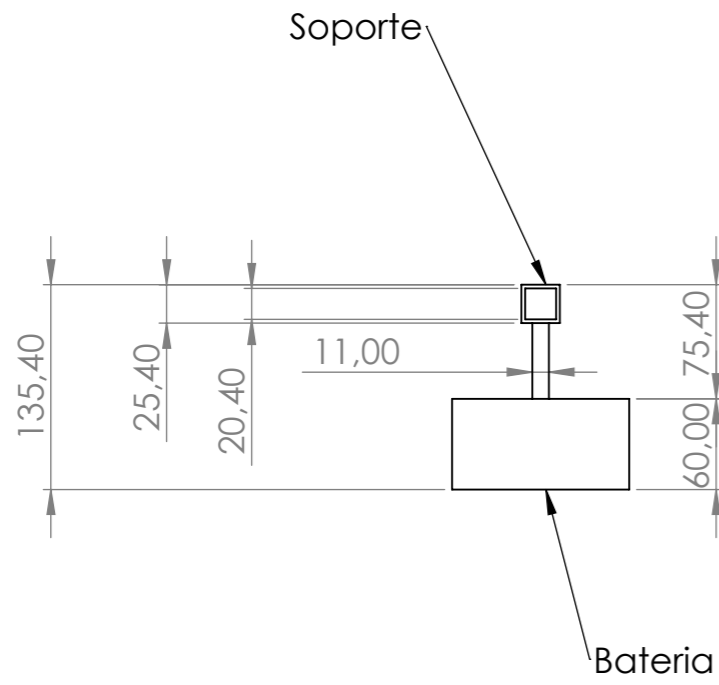
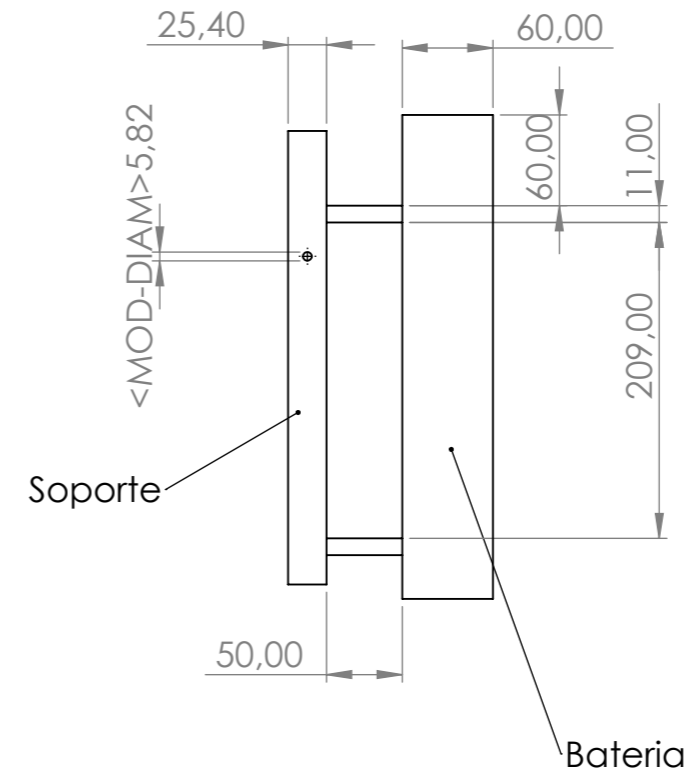
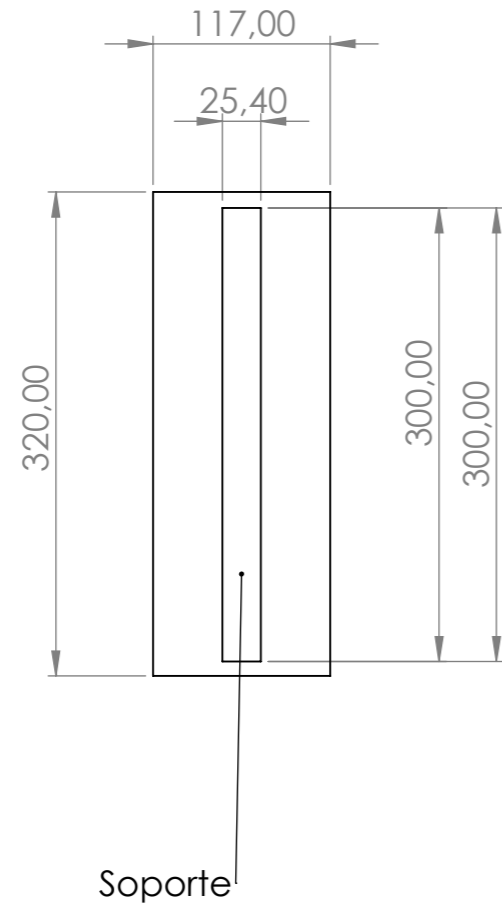
B

C

D

E

F



				TOLERANCIA:	PESO [Kg]:	MATERIAL:	
				0.1	3.00	Acero Negro	
				Fecha	Nombre	<h1>BASE TELESCOPIO</h1>	
				Dibujado 19/10/2020	Mauricio Caiza		
				Revisado			
				Aprobado		ESCALA:	
				FIRMA / EMPRESA:		HOJA:	
						1:5	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			A3	

1

2

3

4

5

6

7

8

A

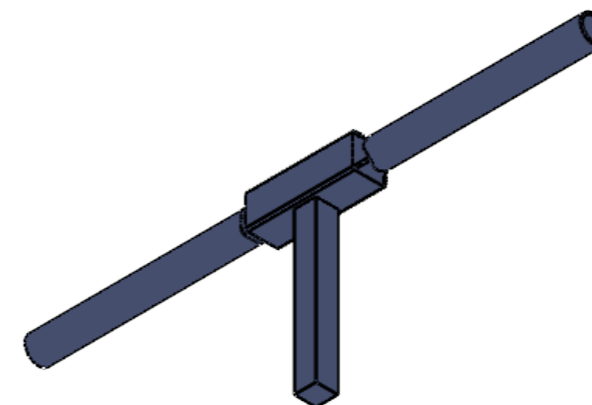
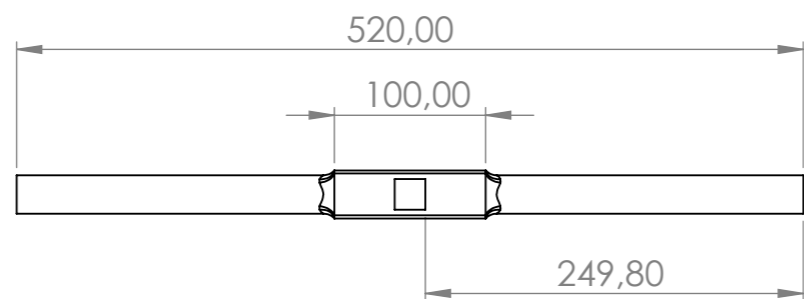
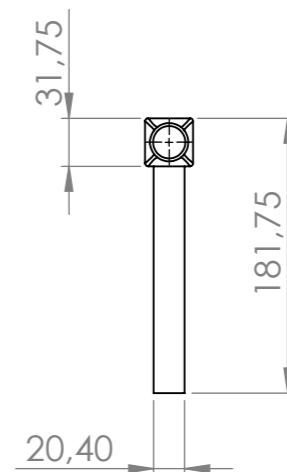
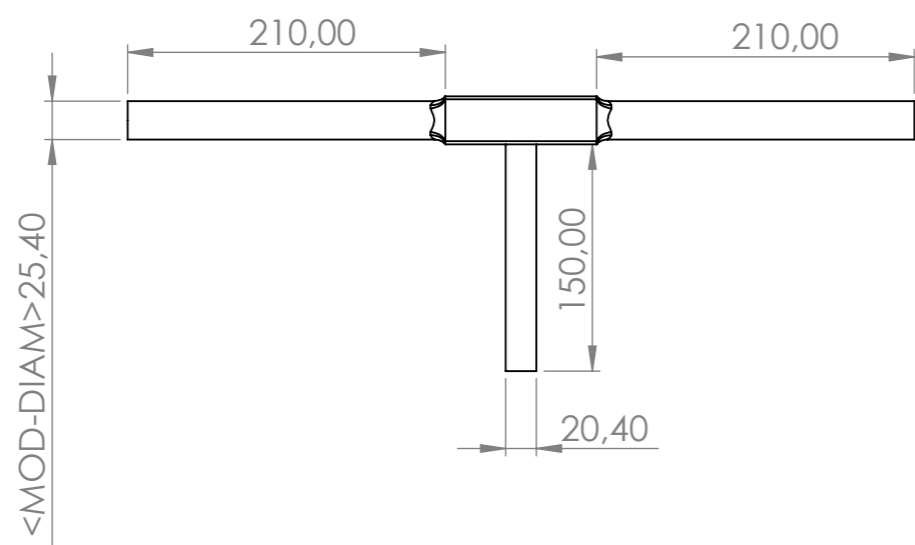
B

C

D

E

F



				TOLERANCIA:	PESO [Kg]:	MATERIAL:	
				0.1	1.45	Acero Negro	
				Fecha	Nombre	Manubrio	ESCALA:
			Dibujado	19/10/2020	Mauricio Caiza		1:5
			Revisado				
			Aprobado				
				FIRMA / EMPRESA:		DIBUJO N°:	HOJA:
							A3
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				