

Diseño estructural de bicicleta eléctrica plegable

Nicolás Alejandro Gordillo Osorio y Luis Antonio Riaño Jiménez

Trabajo de grado para optar por el título de ingeniero mecánico

Director

Jorge Luis Chacón Velazco

Doctor en ingeniería Mecánica

Codirector

Ricardo Alfonso Jaimes Rolón

Magister en ingeniería Mecánica

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ingeniería Mecánica

Bucaramanga

2024

Tabla de contenido

Introducción.....	13
1. Objetivos.....	14
1.1 Objetivo general	14
1.2. Objetivos específicos.....	14
2. Marco teórico.....	15
2.1. Antecedentes.....	15
2.1.1. Internacional	15
2.1.2. Nacional.....	16
3.3 Historia de la bicicleta	17
3.3. Tipos de bicicleta.....	18
3.4. Estructura de la bicicleta.....	19
3.4.1. Sistema estructural.....	19
3.4.2. Sistema de transmisión	23
3.4.3. Sistema de control	24
3.5. La bicicleta como medio de transporte urbano.....	26
3.5.1. Características.....	27
3.5.2. Ergonomía	27
3.5.3. Bicicleta plegable	30
3.5.4. Bicicleta eléctrica	33
3.6. Estado del mercado actual	35

4. Fase 1: Diseño	37
4.1. Identificación de necesidades	38
4.1.1. Análisis demográfico.....	38
4.1.2. Dimensiones antropométricas	39
4.1.3. Peso del usuario.....	40
4.2. Especificaciones del producto	40
4.2.1. Requerimientos.....	40
4.3. Estudio de componentes	41
4.3.1. Componentes del sistema eléctrico.....	41
4.4. Generación de conceptos	43
4.4.1. Método de plegado	44
4.4.1.1. Patrón y dimensiones de la estructura	44
4.4.1.2. Ubicación y orientación del mecanismo de plegado	45
4.4.2. Mecanismo de plegado	49
4.5. Selección de conceptos.....	51
4.5.1. Matriz QFD	51
4.5.1.1. Selección del diseño del marco.	51
4.5.1.1. Selección del mecanismo de plegado.	53
4.6. Diseño de detalle	55
4.6.1. Ensamblaje virtual	55
4.6.1.1. Elementos diseñados.....	56
4.6.1.1.2. Estructura trasera	56

4.6.1.1.3. Estructura delantera	57
4.6.1.1.4. Mecanismo plegable	57
4.6.1.1.5 Tubo de dirección, tubo de pedalier y tubo del sillín.	58
4.6.2. Material del marco.....	59
4.6.3. Material de los demás componentes	62
5. Fase 2: Validación	63
5.1. Estudio de fuerzas.....	64
5.1.2. Subiendo una pendiente.....	66
5.1.3. Empezando a pedalear	68
5.1.5 Resultados de los análisis	71
5.2 Ensayo propuestos por la norma ISO 4210-6:2015.....	76
5.2.1 Ensayo con fuerzas de pedaleo.....	77
5.2.1.1 Condiciones de carga y contorno.	79
5.2.2 Ensayo con fuerzas horizontales	80
5.2.2.1 Condiciones de carga y de contorno.....	81
5.2.3 Ensayo con una fuerza vertical.....	82
5.2.4 Resultados.....	84
6. Fase 3: Prototipo.....	88
6.1 Construcción y montaje.....	88
6.2 Costos del prototipo.....	95
6.3 Pruebas	96
7. Trabajos futuros.....	99

8. Conclusiones.....	100
Referencias Bibliográficas.....	102
Apendices	105

Lista de tablas

Tabla 1 <i>Oferta de bicicletas eléctricas plegables</i>	35
Tabla 2 <i>Medidas antropométricas población colombiana 20-49 años</i>	40
Tabla 3 <i>Otros kits de conversión a bicicleta eléctrica presentes en el mercado</i>	42
Tabla 4 <i>Baterías de 36V encontradas en el mercado</i>	43
Tabla 5 <i>Alterativas de madera</i>	59
Tabla 6 <i>Propiedades de las maderas para la fabricación del marco</i>	61
Tabla 7 <i>Propiedades de la madera teca</i>	61
Tabla 8 <i>Matriz de comparación acero-aluminio</i>	62
Tabla 9 <i>Propiedades del acero 4130</i>	63
Tabla 10 <i>Cargas aplicadas en diferentes situaciones</i>	65
Tabla 11 <i>Resultados de los análisis esfuerzos Von Mises y desplazamientos</i>	72
Tabla 12 <i>Factor de seguridad</i>	73
Tabla 13 <i>Tabulación de resultados de los análisis</i>	74
Tabla 14 <i>Fuerzas en el eje de pedal</i>	78
Tabla 15 <i>Fuerzas y ciclos en las punteras de la horquilla delantera</i>	81
Tabla 16 <i>Fuerzas sobre la tija del sillín</i>	83
Tabla 17 <i>Resultados esfuerzos Von Mises y desplazamientos de los ensayos de la norma ISO 4210-6</i>	85
Tabla 18 <i>Resultados factor de seguridad</i>	86
Tabla 19 <i>Tabla de resultados de los ensayos de la norma ISO 4210-6</i>	88
Tabla 20 <i>Costos del prototipo</i>	96

Lista de figuras

Figura 1 <i>Evolución de la bicicleta</i>	18
Figura 2 <i>Geometría de marco de bicicleta</i>	20
Figura 3 <i>Sillín de bicicleta</i>	23
Figura 4 <i>Sistema de transmisión de bicicleta</i>	23
Figura 5 <i>Componentes del sistema de control</i>	25
Figura 6 <i>Freo de llanta y freno de disco</i>	26
Figura 7 <i>Postura correcta en el uso de la bicicleta urbana</i>	29
Figura 8 <i>Primera bicicleta plegable</i>	30
Figura 9 <i>Bicicleta Pedersen plegable</i>	31
Figura 10 <i>Bicicleta plegable aerotransportable</i>	32
Figura 11 <i>Primera patente de bicicleta eléctrica</i>	33
Figura 12 <i>Primera bicicleta eléctrica de motor central</i>	33
Figura 13 <i>El Pedelec</i>	34
Figura 14 <i>Diagrama de flujo de la fase de diseño</i>	38
Figura 15 <i>Medidas antropométricas de pie y sentado</i>	39
Figura 16 <i>Ángulos de sillín y de dirección marco de bicicleta eléctrica plegable</i>	44
Figura 17 <i>Patrón estructural de la bicicleta</i>	45
Figura 18 <i>Alternativa de estructura 1</i>	47
Figura 19 <i>Alternativa de estructura 2</i>	47
Figura 20 <i>Alternativa de estructura 3</i>	48
Figura 21 <i>Alternativa de estructura 4</i>	48

Figura 22 <i>Alternativa de mecanismo de plegado 1</i>	49
Figura 23 <i>Alternativa de mecanismo de plegado 2</i>	50
Figura 24 <i>Alternativa de sistema de plegado 3</i>	50
Figura 25 <i>Matriz QFD del diseño estructural</i>	51
Figura 26 <i>Matriz de selección del diseño estructural</i>	52
Figura 27 <i>Matriz QFD del mecanismo de plegado</i>	53
Figura 28 <i>Matriz de selección del mecanismo de plegado</i>	54
Figura 29 <i>Diseño de la bicicleta plegable</i>	56
Figura 30 <i>Sección transversal y línea guía de las lanzas</i>	56
Figura 31 <i>Estructura trasera</i>	57
Figura 32 <i>Estructura delantera</i>	57
Figura 33 <i>Mecanismo plegable</i>	58
Figura 34 <i>Tubo de dirección, tubo de pedalier, y tubo de sillín</i>	58
Figura 35 <i>Ensamblaje virtual</i>	63
Figura 36 <i>Fuerza dimensiones en el eje de pedalier</i>	66
Figura 37 <i>Vista lateral del eje de pedalier</i>	66
Figura 38 <i>Diagrama de fuerzas aplicadas en el marco al subir una pendiente</i>	67
Figura 39 <i>Diagrama de fuerzas aplicadas en el marco al empezar a pedalear desde el reposo</i>	69
Figura 40 <i>Diagrama de fuerzas aplicadas en el marco al pedalear sentado</i>	71
Figura 41 <i>Factor de seguridad mínimo al pedalear sentado</i>	75
Figura 42 <i>Esfuerzos, desplazamientos y factor de seguridad caso crítico</i>	76
Figura 43 <i>Ensayo de fatiga con fuerzas de pedaleo</i>	78

Figura 44 <i>Condiciones de carga y de contorno</i>	80
Figura 45 <i>Ensayo de fatiga por fuerzas horizontales</i>	81
Figura 46 <i>Condiciones de carga y de contorno</i>	82
Figura 47 <i>Ensayo de fatiga con fuerzas verticales</i>	83
Figura 48 <i>Condiciones de carga y de contorno</i>	84
Figura 49 <i>Diagrama de flujo fase de construcción</i>	88
Figura 50 <i>Árbol de mónico</i>	89
Figura 51 <i>Corte, pegado y prensado de tableros tríplex</i>	90
Figura 52 <i>Figuras perfiladas</i>	91
Figura 53 <i>Presentación previa del marco</i>	92
Figura 54 <i>Anclaje de placas traseras</i>	93
Figura 55 <i>Fabricación y montaje de la bisagra</i>	94
Figura 56 <i>Prototipo Finalizado</i>	95
Figura 57 <i>Prueba pedaleando sentado con y sin asistencia eléctrica</i>	97
Figura 58 <i>Prueba empezando a pedalear</i>	98
Figura 59 <i>Prueba subiendo una pendiente</i>	99

Lista de apéndices

Apéndice A. Planos 107

Resumen

Título: Diseño estructural de bicicleta eléctrica plegable

Autor: Nicolás Alejandro Gordillo Osorio y Luis Antonio Riaño Jiménez

Palabras Clave: Bicicleta plegable, movilidad sostenible, portabilidad, análisis estructural.

Descripción: Este proyecto tiene como objetivo el diseño de una bicicleta eléctrica plegable, cumpliendo con los requisitos establecidos por la Resolución 160 de 2017 del Ministerio de Transporte para bicicletas de pedaleo asistido, con el fin de proporcionar una solución de movilidad sostenible y práctica.

El proyecto se dividió en tres fases. La primera fase fue la de diseño, donde se investigaron y analizaron los distintos parámetros para poder crear tres alternativas de diseño y seleccionar la más adecuada.

La segunda fase se centró en la validación del diseño, utilizando el software SolidWorks, se creó un modelo 3D y se realizaron simulaciones por elementos finitos (FEA) para validar la resistencia y estabilidad de la estructura bajo diferentes condiciones de carga y esfuerzo. Estas simulaciones confirmaron que el diseño era viable y que el material escogido, la madera, podía soportar las tensiones del uso diario en un entorno urbano.

Finalmente, en la tercera fase, se procedió al prototipado. Se construyó un prototipo funcional de la bicicleta, lo que permitió realizar pruebas en condiciones reales. Se evaluó su maniobrabilidad, estabilidad y efectividad del sistema de asistencia eléctrica. Los resultados mostraron que la bicicleta cumplía con los objetivos planteados y era una solución eficiente para la movilidad urbana.

Abstract

Title: *Structural Design of a Folding Electric Bike*

Author(s): *Nicolás Alejandro Gordillo Osorio and Luis Antonio Riaño Jiménez*

Keywords: *Folding bike, sustainable mobility, portability, structural analysis*

Description: *This project aims to design a folding electric bicycle that meets the requirements set by Resolution 160 of 2017 from the Ministry of Transportation for pedal-assisted bicycles, with the goal of providing a practical and sustainable mobility solution.*

The project was divided into three phases. The first phase was the design phase, where various parameters were researched and analyzed to create three design alternatives, selecting the most appropriate one.

The second phase focused on validating the design. Using SolidWorks software, a 3D model was created, and finite element analysis (FEA) simulations were performed to validate the structure's resistance and stability under different load and stress conditions. These simulations confirmed the design's feasibility and showed that the chosen material, wood, could withstand the stresses of daily use in an urban environment.

Finally, the third phase involved prototyping. A functional prototype of the bicycle was built, allowing for real-world testing. Its maneuverability, stability, and effectiveness of the electric assistance system were evaluated. The results demonstrated that the bicycle met the proposed objectives and provided an efficient solution for urban mobility.

Introducción

La problemática de la movilidad en entornos urbanos se agrava debido a la contaminación del aire y la necesidad de fomentar la movilidad sostenible. La congestión del tráfico, impulsada en gran medida por vehículos que operan con combustibles fósiles emiten contaminantes, ha llevado a la búsqueda de alternativas más ecológicas y eficientes.

Según las Naciones Unidas, las emisiones de gases de efecto invernadero del sector del transporte han aumentado más del doble desde 1970, 80 % de ese incremento proviene de los vehículos de carretera, contribuyendo a problemas de salud pública y ambientales, como accidentes cerebrovasculares, cardiopatías, cánceres de pulmón y neumopatías crónicas y agudas, como el asma, aquí entra la movilidad sostenible, que busca reducir la dependencia de los vehículos tradicionales y promover alternativas más limpias, en Colombia según las cifras publicadas por el Departamento Nacional de Planeación (DNP) en 2018, los costos en la salud asociados a la baja calidad del aire en el país ascienden a \$12,2 billones de pesos colombianos, equivalentes al 1,5 % del PIB de 2015, relacionados con 8.000 muertes (DNP, 2018).

El diseño de una bicicleta eléctrica plegable aborda el problema de manera efectiva al proporcionar una solución de movilidad sostenible y práctica. Una bicicleta eléctrica plegable permite a los usuarios optar por un medio de transporte no contaminante, mientras solucionan problemas como el almacenamiento limitado y la necesidad de integrar múltiples modos de transporte en sus desplazamientos diarios. La facilidad de plegar y llevar consigo estas bicicletas no solo aumentan la accesibilidad, sino que también contribuye a la reducción de la congestión del tráfico y la promoción de un estilo de vida más activo y saludable en áreas urbanas, reduciendo así la emisión de gases y contribuyendo a la mejora de la calidad del aire urbano.

1. Objetivos

1.1 Objetivo general

Diseñar una bicicleta eléctrica que sea plegable

1.2. Objetivos específicos

- Diseñar una bicicleta eléctrica plegable que cumpla los siguientes requerimientos de acuerdo con la Resolución 160 de 2017 del ministerio de transporte para bicicletas de pedaleo asistido.

*Motor auxiliar con potencia nominal continua no superior a 0,35 kW.

*Velocidad máxima de asistencia de 25 km/h.

*Peso nominal máximo de 35 kg.

-Modelar y validar la estructura mediante el software SolidWorks y prototipado virtual.

-Construir un prototipo funcional que permita evaluar su comportamiento en el entorno urbano.

2. Marco teórico

Para el diseño de la bicicleta eléctrica plegable que cumpla con los requerimientos mencionados, se parte desde modelos ya existentes en la actualidad, donde la idea es innovar y realizar una bicicleta eficiente de acuerdo con los requerimientos.

El marco teórico de este proyecto engloba tanto información extraída de investigaciones previas como consideraciones teóricas pertinentes. Por esta razón, se divide en dos secciones principales: la primera aborda antecedentes e investigaciones realizadas a nivel internacional, nacional y regional relacionadas con el tema de estudio. La segunda sección se enfoca en la exploración de referentes teóricos con el propósito de establecer bases sólidas, respaldando conceptualmente la formulación del problema y los objetivos del estudio.

2.1. Antecedentes

Basándose en la bibliografía revisada, se analizaron trabajos de grado y artículos de revistas científicas que abordan el diseño de bicicletas plegables. A través de esta revisión bibliográfica, se identificó el objetivo principal y el diseño metodológico utilizado en cada uno de estos trabajos, así como los resultados correspondientes y sus contribuciones a la presente propuesta de investigación, considerando su aplicación a nivel internacional y nacional.

2.1.1. Internacional

En la Universidad Politécnica de Catalunya se desarrolló un proyecto de grado titulado “Diseño y análisis de la estructura de una bicicleta plegable” (Gonzalo, 2013) realizada en Barcelona, España, teniendo como objetivo general diseñar la estructura de un nuevo concepto de bicicleta plegable, en el cual, primeramente, en el proceso de obtención del diseño, se definió tanto la funcionalidad como la contribución a la sociedad de la bicicleta plegable. Se explicaron los

procesos de fabricación y los materiales empleados en cada componente más importante. Posteriormente, la estructura, usando el software SolidWorks, se sometió a ensayos de diferentes esfuerzos como el ensayo estático con fuerzas verticales, con fuerzas de pedaleo y ensayo de choques de la estructura para verificar su resistencia mecánica y garantizar el cumplimiento con la normativa vigente. Aportando al proyecto una serie de ensayos que podrían ser útiles para validar el diseño y tener una idea de posibles materiales y variables para tener en cuenta en el estudio técnico-económico.

Además de este, en la Universidad del país Vasco se desarrolló un proyecto titulado “Diseño y análisis de un cuadro de bicicleta mediante el método de los elementos finitos” (Hormaetxe, 2019), realizado en Bilbao España, teniendo como objetivo general diseñar y analizar la respuesta de un cuadro de bicicleta ante unos estados de carga concretos mediante el método de elementos finitos, en el cual, se muestran tanto estudios de parámetros y medias propias de la estructura de la bicicleta como estudios y análisis de cargas y momentos, y como el punto de aplicación de estos influye el comportamiento de la estructura del marco. Aportando al proyecto un punto de partida para realizar los análisis estáticos y validar la estructura aproximando las cargas simuladas lo más posible a la realidad.

2.1.2. Nacional

En Medellín, Colombia se realizó un proyecto junto a la Dirección de Formación Profesional del Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación – SENNOVA del SENA y el Centro para la Investigación para el Desarrollo de la Innovación -CIDI- de la Universidad Pontificia Bolivariana titulado “Diseño de bicicletas plegables en madera: una posibilidad real para el uso sostenible de un material renovable” (Escobar, Zuleta, Areiza, Correa,

2018) teniendo como objetivo general diseñar una bicicleta plegable de madera que se pueda integrar a una estrategia de movilidad sostenible.

Metodológicamente, se siguieron cuatro fases: Información, Formalización, Conformación y Validación. Se hizo un análisis de las características de modelos de bicicletas plegables existentes, se definieron los requerimientos de diseño, el patrón geométrico y el patrón estructural para el marco; se seleccionaron la madera y los componentes estándar y se diseñó el mecanismo de plegado. Se utilizaron prototipos a diferentes escalas para pruebas de ajuste dimensional con componentes y pruebas básicas de manejo para determinar maniobrabilidad y factores de ajuste ergonómico. Por Último, se validó el comportamiento mecánico con un análisis por elementos finitos. Como resultado se obtuvo el diseño de un marco plegable en madera de teca compuesto por tres sistemas estructurales integrados, reforzados con insertos metálicos internos, basado en un triángulo trasero, una elipse central y un voladizo frontal.

Este proyecto aporta un método para el diseño del marco partiendo de un patrón geométrico, a su vez aporta el análisis realizado a los diferentes tipos de madera para poder escoger la madera teca como material a considerar.

3.3 Historia de la bicicleta

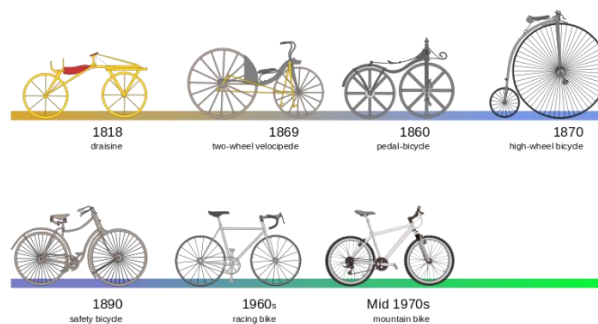
La invención de la bicicleta ocurre en el año 1817 y se le atribuye a Karl Freiherr von Drais de Alemania. A este primer ejemplar se le llamó Draisiana, estaba hecho en madera y no tenía pedales, por lo que el método de impulso era arrastrando los pies contra el piso.

En 1839 ocurrió el primer cambio importante de la mano del escocés Kirkpatrick Macmillan, pues este implementó pedales para la propulsión, aunque no se transmitía la potencia por cadenas si no por uniones rectas y rígidas que hacían girar la rueda trasera.

La bicicleta fue inventada en 1817 por Karl Freiherr von Drais en Alemania, quien creó la "Draisiana," un modelo de madera sin pedales que se impulsaba arrastrando los pies. En 1839, Kirkpatrick Macmillan de Escocia introdujo pedales que propulsaban la rueda trasera mediante uniones rígidas, sin cadena. En 1861, Pierre Michaux de Francia colocó pedales en la rueda delantera, aunque esto afectaba la estabilidad. En 1879, James Starley en Inglaterra diseñó una bicicleta con una rueda delantera mucho más grande para mejorar el equilibrio. Finalmente, en 1885, John Kemp Starley desarrolló la bicicleta moderna con cadena, frenos y neumáticos, estableciendo el diseño base de las bicicletas actuales.

Figura 1

Evolución de la bicicleta



Nota: El gráfico muestra la evolución de la bicicleta. Tomado de WeRbikes, P. (s/f). La Historia de la Bicicleta. WeRbikes Tienda de Bicicletas de <https://www.werbikes.mx/blogs/werbikes-blog/la-historia-de-la-bicicleta/>

3.3. Tipos de bicicleta

Existen varios tipos de bicicletas diseñadas para diferentes necesidades, como las de carretera, montaña, gravel, BMX, urbanas, infantiles y eléctricas. Las bicicletas eléctricas pueden encontrarse en todas estas categorías, y también es posible crear versiones plegables de diversos tipos. Este proyecto se enfocará en las bicicletas eléctricas plegables urbanas, diseñadas para uso en ciudad, con asistencia eléctrica y fácil portabilidad.

3.4. Estructura de la bicicleta

La bicicleta consta de tres sistemas, el sistema estructural, el sistema de transmisión y el sistema de control, para el diseño de debe garantizar que estos sistemas se acoplen entre sí para que la bicicleta funcione correctamente.

3.4.1. Sistema estructural

El sistema estructural de una bicicleta constituye el armazón fundamental que integra y sostiene todos sus componentes, desde la transmisión hasta los sistemas de frenos y dirección. Debe ser lo suficientemente rígido y resistente para soportar las cargas y fuerzas aplicadas durante la conducción, garantizando una transmisión óptima de la potencia generada por el ciclista y manteniendo la estabilidad y control del vehículo. Además, la distribución uniforme de las cargas a lo largo de la estructura contribuye a su durabilidad y rendimiento a largo plazo.

3.4.1.1. Marco. El marco de una bicicleta desempeña un papel fundamental en su funcionamiento y rendimiento. Además de proporcionar la forma básica del vehículo, el marco ofrece estabilidad y rigidez estructural, permitiendo que la bicicleta soporte las fuerzas y cargas generadas durante la conducción distribuyendo uniformemente estas fuerzas para prevenir la concentración de tensiones que podrían comprometer su integridad.

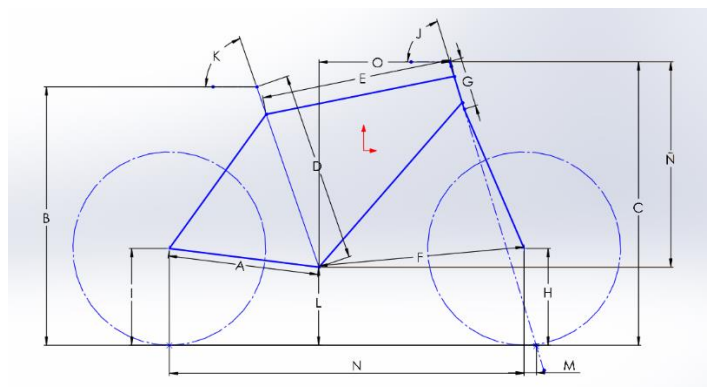
La adaptabilidad del marco de la bicicleta a diversas necesidades y modalidades es un aspecto crucial. Factores como la forma, peso y material del marco son determinantes para orientar la bicicleta hacia una modalidad específica, siendo estos elementos influenciados tanto por las prestaciones del vehículo como por la postura del usuario. Por lo tanto, el diseño del marco no solo implica consideraciones técnicas, sino también ergonómicas y funcionales que requieren una atención especial en el proceso de desarrollo y diseño de la bicicleta.

3.4.1.1.1. Geometría del marco

La geometría del marco de una bicicleta es uno de los factores clave que determina su comportamiento, comodidad y rendimiento. Cada medida influye en la postura del ciclista, la estabilidad, la maniobrabilidad y la eficiencia del pedaleo. A continuación, en la figura 2 se muestran las medidas principales de la geometría del marco.

Figura 2

Geometría de marco de bicicleta



Nota: El gráfico muestra un esquema del marco de la bicicleta

A: Longitud de vaina: La distancia horizontal desde el eje del pedalier hasta el eje de la rueda trasera.

B: Distancia suelo-sillín: La medida vertical desde el suelo hasta la parte superior del sillín.

C: Altura total de la bicicleta: La medida vertical desde el suelo hasta el punto más alto de la bicicleta, por lo general, el manillar o el extremo superior del tubo de dirección.

D: Altura de la barra del sillín: La distancia vertical desde el suelo hasta la parte superior del tubo del sillín.

E: Distancia sillín-dirección: La distancia horizontal desde la parte superior del sillín hasta el centro del tubo de dirección, esta distancia debe permitir la flexión de los codos del usuario para controlar correctamente la bicicleta.

F: Centro frontal: Distancia entre el pedalier y el eje delantero, determina la libertad de movimiento entre los pedales y la rueda delantera para que no colisionen.

G: Longitud del tubo de dirección: La medida vertical desde la parte superior del tubo de dirección hasta la parte superior de la horquilla.

H: Altura llanta delantera: La medida vertical desde el suelo hasta la parte superior de la llanta delantera.

I: Altura llanta trasera: La medida vertical desde el suelo hasta la parte superior de la llanta trasera.

J: Ángulo del tubo de dirección: El ángulo formado entre el tubo de dirección y una línea horizontal, entre más vertical la respuesta de la dirección es más rápida, pero es más fácil de perder el control de la bicicleta.

K: Ángulo del tubo del sillín: El ángulo formado entre el tubo del sillín y una línea vertical, es crucial para la comodidad y eficacia del pedaleo. Si es demasiado vertical, puede resultar

incómodo para el ciclista. Por otro lado, si está muy horizontal, puede limitar la libertad de movimiento de la espalda y afectar el alcance del manubrio.

L: Altura de la caja de pedalier: La distancia vertical desde el suelo hasta el centro de la caja de pedalier, hay mayor equilibrio entre más bajo este ya que baja el centro de gravedad, se debe tener en cuenta la longitud de las bielas y el terreno para determinar la altura.

M: Avance: La distancia horizontal entre el punto de contacto del neumático delantero con el suelo y el punto donde se cruza la proyección del eje de la dirección con el suelo, entre mayor sea el avance, hay mayor control de las curvas a altas velocidades, pero más difícil de controlar a bajas velocidades.

N: Distancia entre ejes: La distancia horizontal entre los ejes de las ruedas delantera y trasera, una mayor distancia entre ejes tiende a proporcionar una sensación de conducción más estable y relajada, mientras que una distancia más corta entre ejes puede mejorar la agilidad, siempre y cuando el centro de gravedad se mantenga bajo y equilibrado entre ambos ejes.

Ñ: Altura del cuadro: La altura vertical desde el centro del pedalier hasta la parte superior del tubo del manillar.

O: Alcance: La distancia horizontal desde el centro del pedalier hasta el centro del tubo del manillar.

3.4.1.2. Sillín. El sillín de la bicicleta es un componente esencial que proporciona soporte y comodidad al ciclista durante la conducción. La altura y posición del sillín son ajustables para adaptarse a las preferencias individuales y la geometría de la bicicleta, mientras que el sistema de sujeción permite fijarlo de forma segura al tubo del asiento del cuadro.

La figura 3 muestra el sillín y la tija por el cual este se une al marco de la bicicleta.

Figura 3

Sillín de bicicleta



3.4.2. Sistema de transmisión

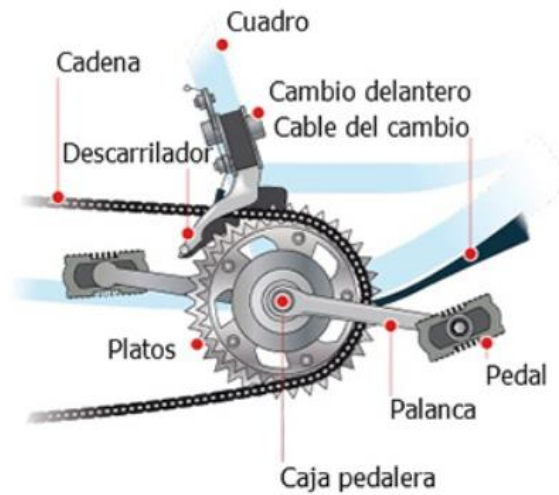
El sistema de transmisión de una bicicleta constituye un elemento fundamental en su funcionamiento, siendo responsable de transferir la energía generada por el ciclista a la rueda trasera para propulsar el vehículo hacia adelante.

La potencia se genera a través de un movimiento de rotación de las piernas, que impulsan las bielas y, junto con ellas, el eje de pedalier. Los pies actúan como punto de contacto entre la pierna y la biela, reposando sobre los pedales, los cuales son plataformas unidas a las bielas mediante un eje que permite un giro relativo.

La figura 4 muestra los componentes más comunes encontrados en el sistema de transmisión de la bicicleta.

Figura 4

Sistema de transmisión de bicicleta

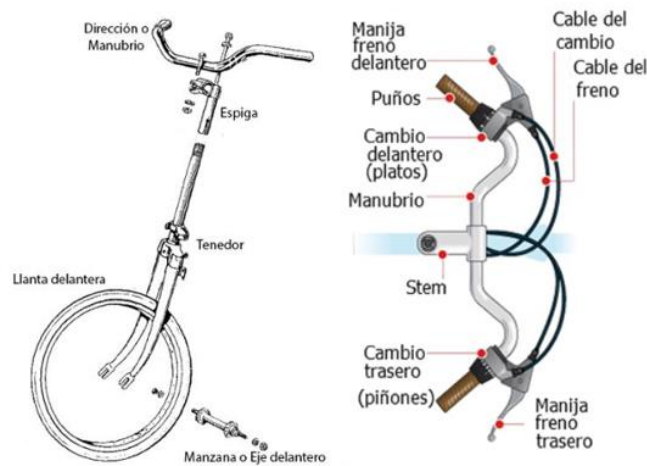


Nota: Tomado de Rosario en bici. La bicicleta, sus partes y accesorios de <https://rosarioenbici.com/2013/10/la-bicicleta-sus-partes-y-accesorios/>

3.4.3. Sistema de control

El sistema de control de una bicicleta engloba todos los componentes que permiten al ciclista dirigir y controlar el vehículo de manera segura y eficiente, véase figura 5, Esto incluye el manillar, que proporciona el punto de agarre para dirigir la bicicleta, y la horquilla delantera, que sostiene la rueda delantera y permite la dirección.

Los frenos son otro elemento crucial del sistema de control, ya sea frenos de llanta o frenos de disco, que permiten al ciclista modular la velocidad y detener el vehículo cuando sea necesario.

Figura 5*Componentes del sistema de control*

Nota: Tomado de Rosario en bici. La bicicleta, sus partes y accesorios de <https://rosarioenbici.com/2013/10/la-bicicleta-sus-partes-y-accesorios/>

3.4.3.1. Sistema de dirección. Consiste en el conjunto de componentes que permiten al ciclista girar el manillar y, por ende, orientar la rueda delantera. La horquilla delantera, que se conecta al cuadro de la bicicleta, sostiene la rueda delantera y puede incorporar un tubo de dirección que aloja los rodamientos que permiten el giro. Al girar el manillar, se transmite este movimiento a la horquilla, lo que resulta en un cambio de dirección de la rueda delantera. El ángulo del tubo de dirección, junto con otros factores de diseño, influye en la estabilidad y la respuesta de la dirección.

3.4.4.2. Frenos. El sistema de frenos de una bicicleta es un conjunto de componentes críticos que permiten al ciclista controlar la velocidad y detener el vehículo de manera segura y eficiente. Los más comunes son los de llanta y los de disco, como los que se muestran en la figura 6. En los frenos de llanta, las palancas de freno accionan cables que transmiten la fuerza a las

zapatillas de freno, las cuales se presionan contra las paredes laterales de las llantas cuando se aplica la fuerza de frenado. Por otro lado, en los frenos de disco, las palancas de freno activan pinzas que presionan almohadillas contra discos metálicos montados en el centro de las ruedas. Este diseño proporciona una mayor potencia de frenado y una mejor modulación, ya que el sistema es menos susceptible a las condiciones climáticas y al desgaste de los neumáticos.

Figura 6

Freno de llanta y freno de disco



3.5. La bicicleta como medio de transporte urbano

La bicicleta ha surgido como un medio de transporte urbano prominente en numerosas ciudades del mundo, motivada por su sostenibilidad ambiental, beneficios para la salud, economía, eficiencia en el tráfico y flexibilidad. En un contexto urbano, las bicicletas ofrecen una opción accesible y eficaz para desplazarse, promoviendo la reducción de emisiones contaminantes y mejorando la calidad de vida de los habitantes urbanos. Este fenómeno ha generado un interés creciente en la investigación académica, contribuyendo así al desarrollo de estrategias urbanas más sostenibles y equitativas.

3.5.1. Características

Las bicicletas urbanas están diseñadas específicamente para el transporte en entornos urbanos. La geometría del cuadro es más erguida que la de una bicicleta de carreras, lo que proporciona una posición de conducción más vertical y cómoda, permitiendo una mejor visibilidad del tráfico.

En términos de transmisión, estas bicicletas suelen ofrecer una velocidad única o cambios internos en el buje trasero, lo que no solo reduce el mantenimiento necesario, sino que también proporciona una conducción más sencilla y confiable en entornos urbanos.

3.5.2. Ergonomía

Existen una gran cantidad de factores biomecánicos que afectan el rendimiento del ciclismo. Estos factores suelen agruparse en una de tres categorías: factores ambientales, factores biomecánicos internos y factores mecánicos externos (Too, Danny & Landwer, Gerald E., 2003).

Los factores ambientales como la gravedad, la fricción y la resistencia del aire son generalmente fuerzas resistivas que inhiben el rendimiento del ciclismo en tierra. La influencia de las fuerzas de fricción en el rendimiento del ciclismo depende del tipo de terreno; la suavidad/irregularidades y dureza de las superficies de contacto entre la rueda y la carretera, entre otros.

Las variables biomecánicas internas involucran factores relacionados con el desarrollo de fuerza/torque y la producción de potencia. Entre estos factores se incluyen la posición de longitud muscular inicial y final, el cambio en la longitud muscular, las longitudes de brazo momentáneo muscular, entre otros (Too, Danny & Landwer, Gerald E., 2003).

Los factores mecánicos externos, son los que impiden el movimiento de la bicicleta aparte de los factores ambientales, como la distancia entre el asiento y los pedales, estos factores afectan la posición de las articulaciones, la longitud muscular y la carga de resistencia, lo que a su vez impacta en la producción de fuerza (Too, Danny & Landwer, Gerald E., 2003).

3.5.2.1. Postura correcta en una bicicleta urbana. La práctica del ciclismo es inherentemente repetitiva, lo que significa que los ciclistas realizan movimientos recurrentes que, con el tiempo, pueden causar lesiones o molestias debido al uso constante de la bicicleta. Se han identificado los tipos más comunes de lesiones entre los ciclistas, las cuales suelen manifestarse desde la zona cervical y pélvica hasta los tobillos. Estos problemas pueden incluir cervicodorsalgias, dolor lumbar, síndrome algico de naturaleza neurológica debido a la prolongada presión sobre el hueso pisiforme, hiperextensión de la articulación del carpo, parestesias en los dedos 1°, 2° y 3°, endofibrosis de la arteria ilíaca externa, el conocido "tercer testículo" (higroma), tendinopatía rotuliana y cuadricepsital (Juan Gutiérrez et al., 2021).

Cuando los usuarios no ajustan la configuración de sus bicicletas según sus necesidades específicas, como su altura o peso, su postura al utilizar la bicicleta se ve afectada. Esta falta de adaptación constituye una de las causas más comunes de lesiones entre los ciclistas. Lesiones como la parálisis del manillar o neuropatía cubital, dolor lumbar, síndrome de la parálisis perineal de rodilla de ciclista y síndrome del pie caliente, pueden prevenirse simplemente adaptando la bicicleta al usuario que muestra la figura 7 y seleccionando el tipo adecuado de bicicleta para mantener una postura correcta durante el transporte (Juan Gutiérrez et al., 2021).

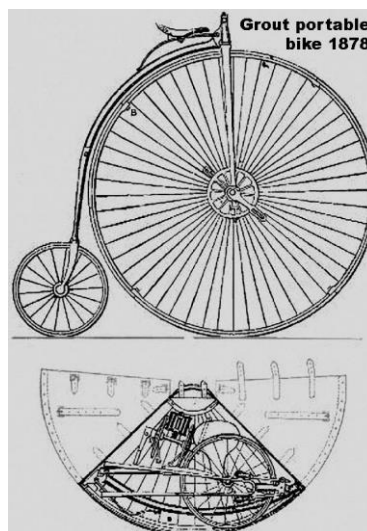
3.5.3. *Bicicleta plegable*

Una bicicleta plegable es un tipo de bicicleta diseñada para ser compacta y fácil de transportar cuando no está en uso. Su principal característica distintiva es su capacidad para plegarse, lo que permite que el cuadro y, a menudo, otras partes como el manillar, los pedales o las ruedas, se plieguen o se desmonten de alguna manera para reducir su tamaño. Son populares entre los ciclistas urbanos, los viajeros y las personas que buscan una forma conveniente de moverse por la ciudad sin preocuparse por el estacionamiento o el robo de bicicletas.

En 1878, William Henry James Grout de Inglaterra patentó la primera bicicleta plegable, que se muestra en la figura 8, marcando un hito en la historia de las bicicletas al crear el primer modelo "portátil".

Figura 8

Primera bicicleta plegable



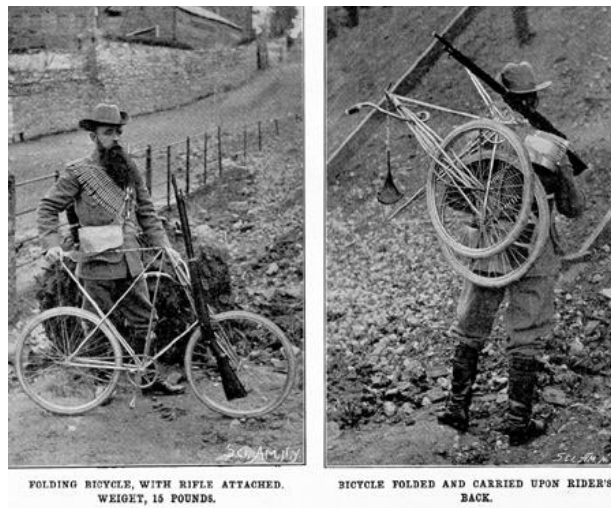
Fuente: Rafael, V. P., & Perfil, V. T. mi. (s/f). Aventuras en una bicicleta plegable. Tomado de <https://Blogspot.com>

El interés militar por las bicicletas surgió en la década de 1890, y el ejército francés y otros adoptaron bicicletas plegables para la Infantería ciclista. En 1900, Mikael Pedersen desarrolló una versión plegable de la bicicleta Pedersen para el ejército británico, pesando 15 libras (6.8 kg) con ruedas de 24 pulgadas, equipada con un armazón para sostener rifles, siendo utilizada en la Segunda Guerra Boer.

La figura 9 muestra la bicicleta Pedersen plegable utilizada por el ejército británico.

Figura 9

Bicicleta Pedersen plegable



Nota: El gráfico muestra la bicicleta plegable utilizada por el ejército británico. Tomado de Jesús, H. en I. en. (s/f). Diseño de una bicicleta tipo MTB plegable. Unavarra.es. Tomado de https://academica-e.unavarra.es/xmlui/bitstream/handle/2454/22212/Ucar%20Hernandez_Jesus.pdf?sequence=1&isAllowed=y

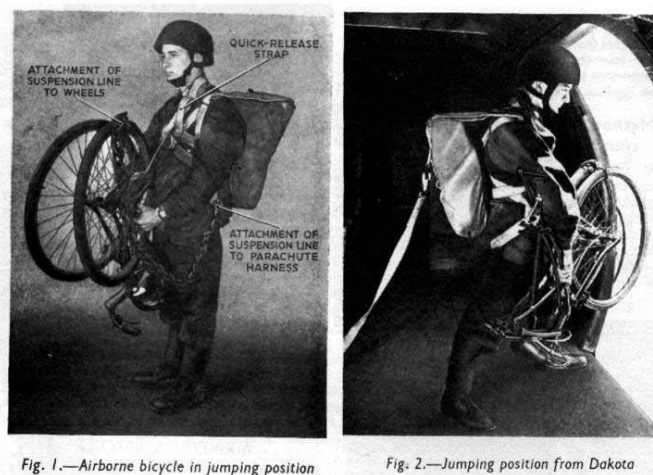
En 1915, en Italia, el empresario Edoardo Bianchi produjo una bicicleta plegable para el Ejército Italiano con características innovadoras como tirantes del asiento telescópicos, una

ballesta en el eje del pedalier, una horquilla de resorte y neumáticos de gran tamaño. Esta bicicleta se considera la primera bicicleta de "doble suspensión de montaña".

Durante la Segunda Guerra Mundial, la bicicleta plegable aerotransportable SA británica se utilizó ampliamente desde 1939 hasta 1945 por los paracaidistas británicos. Solicitada por el Ministerio de la Guerra en 1941, esta bicicleta debía pesar menos de 23 libras (10.5 kg) y soportar los impactos de caída con un paracaídas. Esta bicicleta se destacó por su robustez y ligereza, siendo utilizada en importantes operaciones como los desembarcos en Normandía y la batalla de Arnhem. La figura 10 muestra la posición de salto que adoptaban los soldados con la bicicleta plegable aerotransportable.

Figura 10

Bicicleta plegable aerotransportable



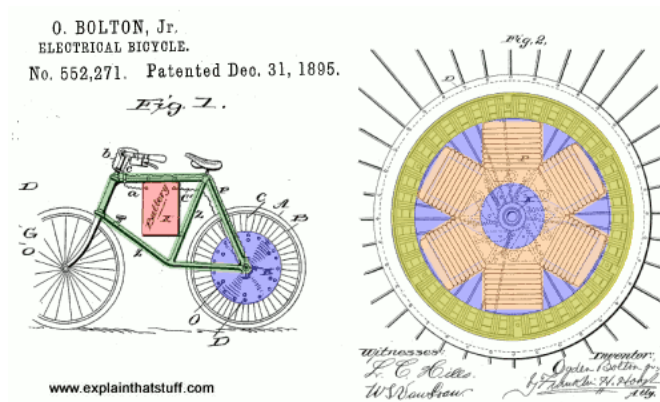
Nota: Tomado de Historia de las bicicletas plegables. (2023, septiembre 12). Biciclasica Blog. Tomado de <https://www.biciclasica.com/blog/2023/09/historia-de-las-bicicletas-plegables/>

3.5.4. Bicicleta eléctrica

En 1895 Ogden Bolton obtiene la primera patente de una bicicleta eléctrica, como muestra la figura 11 estaba equipado con un motor de corriente continua de 6 polos montado en la rueda trasera, impulsado por una batería de 10 voltios ubicada en la barra superior del cuadro.

Figura 11

Primera patente de bicicleta eléctrica

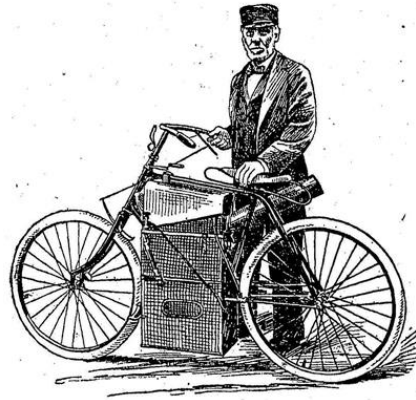


Nota: Tomado de Electrical bicycle (Patent Núm. 552271). (1895). En US Patent

En 1897, apenas dos años después, Oseas W. Libbey inventa la bicicleta eléctrica con motor central, tal como muestra la figura 12, consistía en un motor eléctrico doble montado en el centro del plato del eje.

Figura 12

Primera bicicleta eléctrica de motor central



Nota: Tomado de Daniel, P. (2023). La increíble historia de las bicicletas eléctricas – Sanferbike. Sanferbike.com, de <https://www.sanferbike.com/videostv/historia-de-la-bicicleta-electrica/>

En 1989 Michael Kutter introduce una innovación tecnológica significativa: el Pedelec o Bicilec. Esta invención permitió pedalear sin necesidad de un acelerador, proporcionando una asistencia al pedaleo especialmente útil en terrenos empinados. Esta innovación, marcó el inicio de la explosión de las bicicletas eléctricas tal como las conocemos en la actualidad (Daniel, P, 2023). La figura 13 muestra los primeros diseños del pedelec.

Figura 13

El Pedelec



Nota: Tomado de Schofield, J. (2018, noviembre 6). Electric bikes timeline: Past, present and future. Cyclestore.co.uk. Tomado de <https://blog.cyclestore.co.uk/electric-bikes-timeline-past-present-and-future/>

3.5.4.1 Marco legal en Colombia. En febrero de 2017, el Ministerio de Transporte anunció las regulaciones que regirán en todo el país para la circulación de vehículos automotores como ciclomotores, triciclos y cuatriciclos, tanto de combustión interna como eléctrica, incluidas las motocicletas eléctricas. Estas normativas están establecidas en la resolución 160 de 2017, la cual especifica que las bicicletas equipadas con un motor auxiliar no deben exceder una potencia nominal continua de 0,35 kW (350W). Además, esta potencia debe reducirse gradualmente a medida que aumenta la velocidad del vehículo y se detendrá cuando el conductor deje de pedalear o cuando la velocidad alcance los 25 km/h. El peso máximo permitido para estas bicicletas asistidas es de 35 kg. Los fabricantes y/o vendedores deben matricular estas bicicletas, las cuales deben mantenerse en óptimas condiciones mecánicas.


3.6. Estado del mercado actual

En el mercado podemos encontrar bicicletas eléctricas plegables desde \$1,500,000 hasta \$7,000,000 COP, aunque se pueden encontrar opciones más costosas.

La tabla 1 muestra algunas ofertas que podemos encontrar.

Tabla 1

Oferta de bicicletas eléctricas plegables

 <p>25km/h 45km</p>	<p>Xiaomi Mi Smart Electric Folding Bike \$1,930,000 COP Capacidad: 3500mAh. Voltaje: 14.4V. Peso máximo soportado: 110kg. Autonomía: 45 km Velocidad máxima: 25km/h. Fuente: https://www.mercadolibre.com.co</p>
--	--

	<p>Bicicleta Eléctrica Plegable Starker T-flex \$3,490,000 COP Capacidad: 36W/10Ah Motor: 350 W Autonomía: 30 km Velocidad máxima: 30km/h. Peso máximo soportado: 120kg. Fuente: https://www.mercadolibre.com.co</p>
	<p>Bicicleta Eléctrica Onewot T6 Bicicleta Plegable \$4,760,000 COP Motor: 350 W Batería: 36V/7.8Ah Velocidad máxima: 28km/h. Autonomía: 40 km Peso máximo soportado: 110kg. Fuente: https://www.falabella.com.co</p>
	<p>Bicicleta Eléctrica 350w Time Elite Cliff \$2,769,000 COP Motor: 350 W Batería: 36V/350 mAh Velocidad máxima: 25km/h. Autonomía: 50/60 Km Peso máximo soportado: 110kg. Fuente: https://www.falabella.com.co</p>
	<p>Bicicleta Eléctrica plegable Mule 750W \$6,790,000 COP Motor: 750 W Batería: 36V/13 Ah Velocidad máxima: 45km/h. Autonomía: 50 Km Peso máximo soportado: 100kg. Fuente: https://obikes.shop</p>

En términos de precio, se observa una gran variabilidad, que va desde los \$1,930,000 COP hasta los \$6,790,000 COP, lo que indica que el mercado está segmentado según diferentes niveles de rendimiento y características. Las opciones más económicas, como la Xiaomi Mi Smart, sacrifican algunos aspectos técnicos, como la velocidad máxima (25 km/h) y la capacidad de la batería, pero ofrecen una relación costo-beneficio atractiva, con 45 km de autonomía y un peso

máximo soportado de 110 kg. Por otro lado, las bicicletas más costosas, como la Mule 750W, justifican su precio con especificaciones técnicas superiores, como un motor de 750 W, una velocidad máxima de 45 km/h y una batería de mayor capacidad (36V/13 Ah), que permite una autonomía de 50 km.

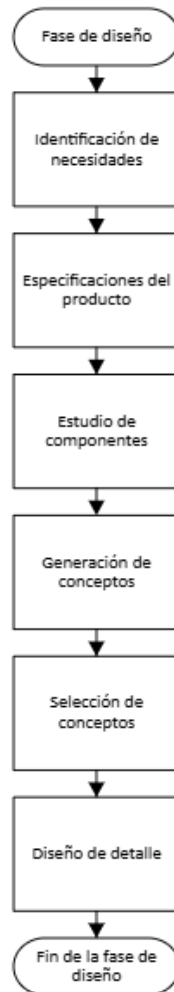
Estas bicicletas ofrecen una amplia gama de características, pero no todas cumplen con las restricciones impuestas por la normativa local. Por ejemplo, la Xiaomi Mi Smart Electric Folding Bike se ajusta bien a las regulaciones, con una velocidad máxima de 25 km/h y un motor con una potencia ajustada a los límites legales. Su peso también es acorde al límite de 35 kg, lo que la hace una opción viable para cumplir con los requisitos legales sin modificaciones. Además, ofrece una autonomía de 45 km y soporta un peso de hasta 110 kg, lo cual es atractivo para usuarios que buscan una bicicleta que pueda cubrir distancias urbanas moderadas sin comprometer su rendimiento o capacidad de carga.

4. Fase 1: Diseño

En esta fase se investigarán y analizarán las distintas variables que afectan el diseño para poder crear tres alternativas de diseño y seleccionar la más adecuada mediante una matriz QFD, finalmente se modelará usando el Software SolidWorks, para esto se seguirá el diagrama de flujo que se muestra en la figura 14.

Figura 14

Diagrama de flujo de la fase de diseño

**4.1. Identificación de necesidades****4.1.1. Análisis demográfico**

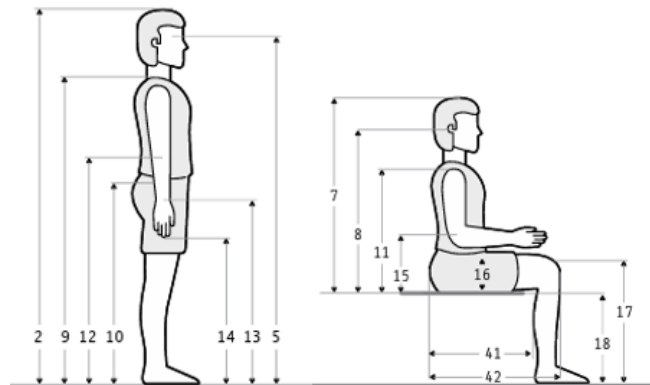
La edad de los usuarios puede variar, ya que este tipo de bicicleta la pueden usar diferentes grupos de edad, pero el mayor uso de bicicleta lo hacen personas de 20 a 45 años según datos de una encuesta realizada por la alcaldía de Bogotá en el año 2021. Por lo tanto, el diseño de la estructura de la bicicleta deberá adaptarse a las medidas promedio de la población.

4.1.2. Dimensiones antropométricas

Para que el diseño sea ergonómico se tuvieron en cuenta las medidas antropométricas promedio de la población colombiana, la figura 15 muestra las medidas antropométricas de pie y sentado del cuerpo, la altura cresta iliaca medial y la largura nalga-rodilla servirán para determinar la altura de la barra del sillín y la largura nalga-rodilla que servirá para determinar la distancia sillín-dirección.

Figura 15

Medidas antropométricas de pie y sentado



Nota: Altura cresta iliaca (10) y largura nalga-rodilla (42). Tomado de Avila, R., Prado L. y Gonzáles, E. (2007) Dimensiones Antropométricas de población latinoamericana, de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/14486/2018sergioboh%C3%B3rquez4.pdf>

Teniendo en cuenta datos de estudio realizado en Colombia sobre los datos antropométricos de la población, véase la tabla 2.

Tabla 2*Medidas antropométricas población colombiana 20-49 años*

Dimensiones	20-29 años		30-39 años		40-49 años		Promedio	
	Hombre	Mujer	Hombre	Mujer	Hombre	Mujer	Hombre	Mujer
Altura cresta iliaca medial	101.6	93.4	100.4	92.6	99.7	92.1	101	93
Largura nalga-rodilla	57.2	54.7	57	55	56.6	55.3	57	55

Nota: Las medidas están en cm, se promediaron los valores entre cada rango de edad para ser usadas como parámetro de diseño del marco. Adaptado de de Avila, R., Prado L. y Gonzáles, E. (2007) Dimensiones Antropométricas de población latinoamericana, de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/14486/2018sergioboh%C3%B3rquez4.pdf>

El límite inferior será de 93cm que corresponde a la altura cresta iliaca medial del promedio de mujeres de 20-49 años, no se elige la altura cresta iliaca medial promedio de los hombres ya que es mayor y puede ser ajustada con la caña del sillín fácilmente, a partir de las medidas presentadas se calcularan las demás medidas para tener en cuenta para poder diseñar el marco (ver figura 2) y cumpla los requerimientos ergonómicos.

4.1.3. Peso del usuario

El marco se diseñará para soportar un peso hasta de 100 kg, ya que haciendo la comparativa del mercado actual este es el peso promedio para la cual se diseñan las bicicletas plegables.

4.2. Especificaciones del producto

4.2.1. Requerimientos

Además de cumplir la normativa, por lo general la estructura de la bicicleta debe ser compacta y ligera para facilitar su transporte y almacenamiento en espacios reducidos, además de contar con un mecanismo de plegado fácil de usar. Debe ser resistente a condiciones ambientales

y adaptable a distintos usuarios con la capacidad de soportar hasta 100 kg. Esto es porque consideramos que es lo mínimo para un diseño competitivo.

4.3. Estudio de componentes

Respecto a los componentes se hará énfasis en el sistema eléctrico, ya que de este depende de que se cumpla la normativa planteada en los objetivos, los componentes mecánicos y estructurales tales como sillín, horquilla, pedales entre otros, no cambian en gran medida el diseño.

4.3.1. Componentes del sistema eléctrico

Para el sistema eléctrico se seleccionó y compró el kit de conversión a bicicleta eléctrica Zemake, la principal razón por la que se seleccionó este es por su precio que ha comparación de otros kits de conversión, ver tabla 3, es más económico y asequible, con un precio de \$800000 pesos a comparación de otros que tienen especificaciones similares ver y llegan a costar más de \$1500000 pesos, el kit consta del motor, un controlador, sensores, acelerador, luz frontal, palancas de freno y cables de conexión, el cual hace uso de un motor Hub en la rueda trasera y tiene una velocidad máxima de asistencia de 25km/h y una potencia nominal de 0.25 KW cumpliendo con los requerimientos de la Resolución 160 de 2017 del ministerio de transporte para bicicletas de pedaleo asistido, este se seleccionó debido a su precio, su fácil montaje y su practicidad, la única desventaja es que no tenía incluida la batería, la cual tuvo que comprarse por separado.

Tabla 3

Otros kits de conversión a bicicleta eléctrica presentes en el mercado

	Nombre	Precio	Peso
	ZEMAKE-Kit de Motor de bicicleta eléctrica, buje de engranaje sin escobillas de alta velocidad, 36V, 48V, 350W, 500W, conversión de bicicleta eléctrica, Cassette delantero y trasero, display6	\$800,000	3Kg
	BAFANG/JUESHUI-Kit de bicicleta eléctrica con batería Hailong, 36V, 15/16Ah, Motor de buje delantero y trasero, 350W	\$1,599,394.54	3.5Kg
	IMOTOR 3 Kit de conversión de bicicleta eléctrica rueda delantera 20 / 24 / 26 / 27,5 / 28 / 29 / 700C pulgadas Motor para bicicleta eléctrica 36V 350W	\$3,143,691.41	8Kg
	Kit de conversión de bicicleta eléctrica, Cassete de cambio de marchas, Motor de cubo trasero, tamaño de rueda de 20-29 pulgadas, 36V, 350W	\$3,098,788.97	10Kg

4.3.1.3. Batería. Para la batería, que no venía incluida al kit se seleccionó batería Hailong, una batería de 36V de iones de litio, la cual tiene un peso aproximado de 900 gr y unas dimensiones de 182*68*45 mm. Al igual que con el kit de conversión esta batería se seleccionó debido al precio y ya que cumple con la función básica de alimentar el sistema eléctrico de manera efectiva, esta costó junto al cargador \$180000 pesos, un precio bastante económico comparado con otras baterías de 36V y con conexión XT60 que se encuentran en el mercado, ver tabla 4.

Tabla 4*Baterías de 36V encontradas en el mercado*

Batería	Nombre	Precio
 <p>36V Battery pack 10S2P 18650 36V 30AH</p>	Hailong-batería Original para bicicleta eléctrica, pila de 36V, 48V, 52V, 20AH, 18650 celdas, 30A, BMS, 350W, 500W, 750W, 1000W	\$180,000
 <p>Hailong Battery</p> <p>52V 20ah 48V 20ah 36V 20ah</p> <p>Free of freight and duty ★ Top Selling Battery</p>	Hailong-batería Original para bicicleta eléctrica, pila de 36V, 48V, 52V, 20AH, 18650 celdas, 30A, BMS, 350W, 500W, 750W, 1000W, envío gratis y cargador de regalo sin impuestos	\$1,540,132.00
 <p>FijiLa</p> <p>36v 36000mAh 10s2p Lithium battery pack</p>	Paquete de batería de alta capacidad para bicicletas eléctricas y Scooters, 10S2P, 36V, 36Ah, XT60 + DC, gratis, cargador de 42v	\$ 511,145.28
 <p>FijiLa</p> <p>36V 20Ah</p> <p>36V 20Ah battery pack + charger</p>	Kit de conversión de bicicleta eléctrica, Cassete de cambio de marchas, Motor de cubo trasero, tamaño de rueda de 20-29 pulgadas, 36V, 350W	\$ 367,640.94

4.4. Generación de conceptos

Cuando se diseña una bicicleta, es crucial considerar varios parámetros y factores ergonómicos, las características de la bicicleta deben ajustarse para facilitar su manejo según su propósito de uso, en este caso circular en la ciudad.

En esta sección se diseñarán tres alternativas tanto para la estructura de la bicicleta como para el sistema de plegado, teniendo en cuenta las diferentes variables que pueden afectar el diseño de la bicicleta, como la compactibilidad, portabilidad, etc.

4.4.1. Método de plegado

4.4.1.1. Patrón y dimensiones de la estructura

Como punto de partida, se determinará el ángulo del tubo del sillín y el de dirección y luego se procederá a ubicar los puntos de referencia del patrón de la estructura de la bicicleta. Estos puntos, que abarcan el eje trasero, el eje delantero, el eje central, el inicio de la caña del sillín y el tubo de dirección. Para ello, como se muestra en la figura 16 en la que se analizan los ángulos de sillín y de dirección de diferentes modelos de bicicleta eléctrica plegable, se realizará un análisis de varios modelos, considerando las dimensiones estándar de estos vehículos.

Figura 16

Ángulos de sillín y de dirección marco de bicicleta eléctrica plegable



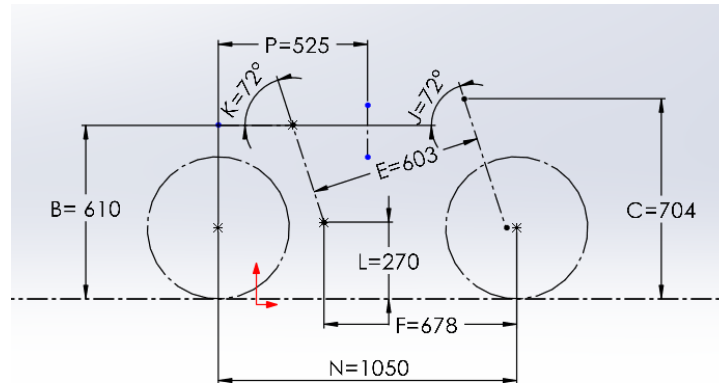
Nota: Los ángulos tanto del tubo del sillín como el de la dirección oscilan entre los 70 y 75 grados.

Al igual que para los ángulos anteriormente mencionados, para ubicar los demás puntos de referencia de la bicicleta se tuvieron en cuenta diferentes modelos de bicicletas plegables, teniendo en cuentas las medidas de la altura cresta iliaca medial y la largura nalga rodilla

expuestas en la tabla 2, esto para cumplir los requerimientos de ergonomía y que el usuario se sienta cómodo al recorrer trayectos de media y larga distancia en el entorno urbano, dando como resultado el patrón geométrico expuesto en la figura 17.

Figura 17

Patrón estructural de la bicicleta



Nota: Las medidas están en mm, P es la distancia del eje trasero hasta el eje de plegado.

4.4.1.2. Ubicación y orientación del mecanismo de plegado

En este punto vamos a considerar opciones ya existentes como también alternativas propias, con el fin de encontrar un diseño óptimo que sea seguro y fiable para el usuario.

La posición del mecanismo de plegado influye en la forma que tendrá la bicicleta plegada, por lo que su compactibilidad depende fuertemente de esta elección. También debemos considerar la comodidad que va a tener el usuario al momento de plegar la bicicleta, para que este no tenga que esforzarse en exceso.



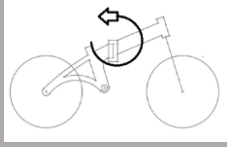
La posición de la bisagra también puede afectar el rendimiento de la bicicleta, ya que un diseño que deba adaptar su forma para ser compatible con la ubicación y la orientación del mecanismo puede desfavorecer la ergonomía y la facilidad para generar potencia al manejar.

Como alternativas para la ubicación y orientación del mecanismo se tomaron en cuenta modelos ya existentes y otros provenientes del proceso creativo.

En la siguiente matriz de Pugh se evalúan las alternativas por medio de un puntaje asignado, donde un valor neutral indica que cumple bien con el requerimiento como lo harían la mayoría de los modelos actuales, un valor positivo indica que la alternativa presenta una mejora respecto a los modelos ya existentes y un valor negativo significa que la alternativa empeora el diseño en ese aspecto.

Tabla 5

Matriz de Pugh para la ubicación y la orientación del mecanismo de plegado

			
Diseño compacto	0	0	-1
Comodidad para plegar	0	1	-1
Facil construcción	0	1	0
Seguro para el usuario	0	-1	0
Rendimiento de la bicicleta	0	-1	1
Evaluación	0	0	-1

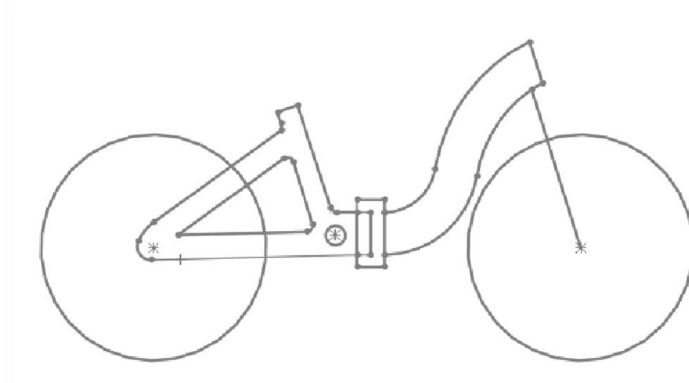
A partir del resultado nos decidimos por una ubicación de la bisagra en la parte central con una orientación de plegado hacia un lado, haciendo que las partes plegadas se cierren quedando las

llantas trasera y delantera juntas. Esta decisión no tuvo mucha discusión debido a que el factor de diseño compacto se cumple muy bien con esta alternativa.

A partir de este patrón estructural se realizaron 4 posibles alternativas para el diseño de la bicicleta plegable, ver figuras 18, 19, 20 y 21.

Figura 18

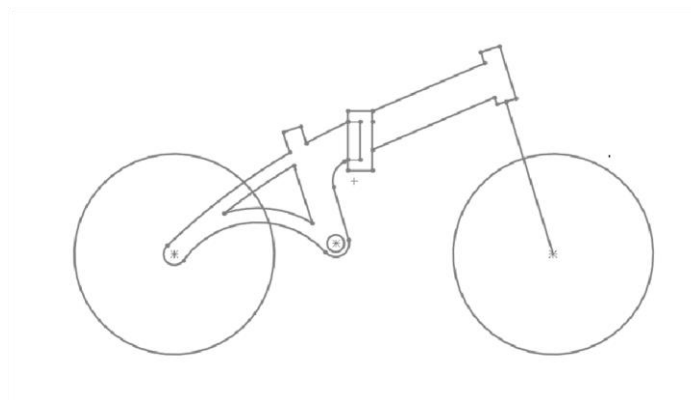
Alternativa de estructura 1



En este diseño se coloca la bisagra cercana a el suelo y a los pedales, buscando más espacio entre las rodillas del usuario además de una estética más excéntrica. Como podemos ver la parte trasera de la estructura es triangular, lo que proporciona buena resistencia a las cargas.

Figura 19

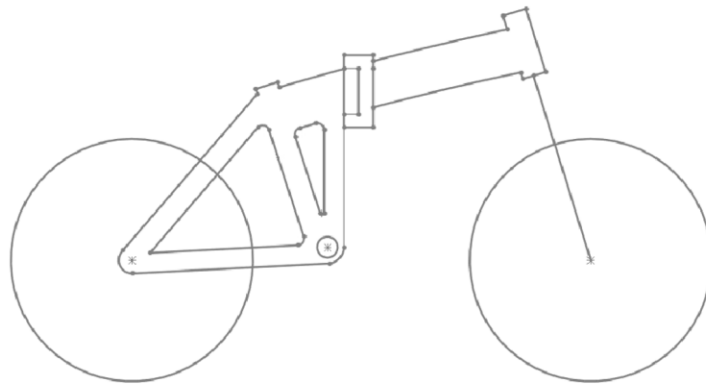
Alternativa de estructura 2



En la segunda alternativa se propone poner la bisagra en la parte superior del marco y en la parte trasera de la estructura se reduce el tamaño con respecto a la alternativa anterior.

Figura 20

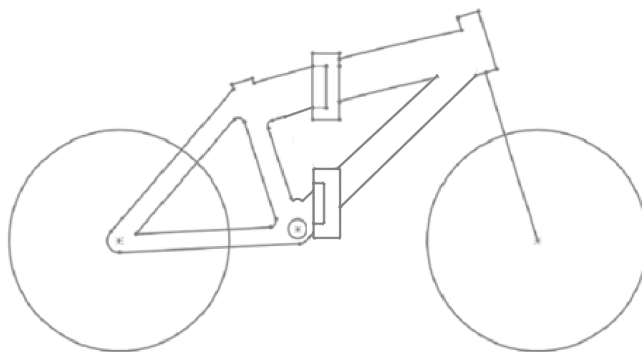
Alternativa de estructura 3



La tercera alternativa presenta en la estructura una geometría triangular en la parte trasera y en la parte central del marco, similar a las bicicletas más comunes, con la diferencia de que la forma triangular va hasta la bisagra ya que se debe plegar en ese punto.

Figura 21

Alternativa de estructura 4



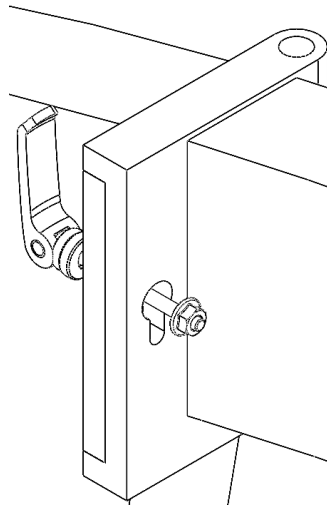
La última alternativa propone una estructura muy similar a las bicicletas comunes no plegables. Aquí se muestra la típica estructura de marco triangular completo donde el mecanismo de plegado se encuentra en la mitad soportado por dos puntos de pliegue.

4.4.2. Mecanismo de plegado

Para el sistema de plegado se tienen 3 alternativas, la primera en la cual las dos hojas de la bisagra se mantienen unidas mediante una palanca de leva, como se muestra en la figura 22.

Figura 22

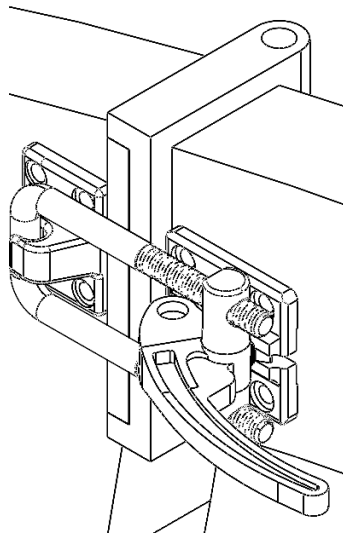
Alternativa de mecanismo de plegado 1



La segunda, expuesta en la figura 23 usa como sistema de bloqueo una abrazadera de palanca. Este diseño es innovador ya que ningún diseño visto contiene un mecanismo de cerrojo similar en el mecanismo de plegado.

Figura 23

Alternativa de mecanismo de plegado 2



Y la última se mantiene junta mediante una abrazadera de palanca de bisagra tipo C, como se muestra en la figura 24.

Figura 24

Alternativa de sistema de plegado 3



4.5. Selección de conceptos

4.5.1. Matriz QFD

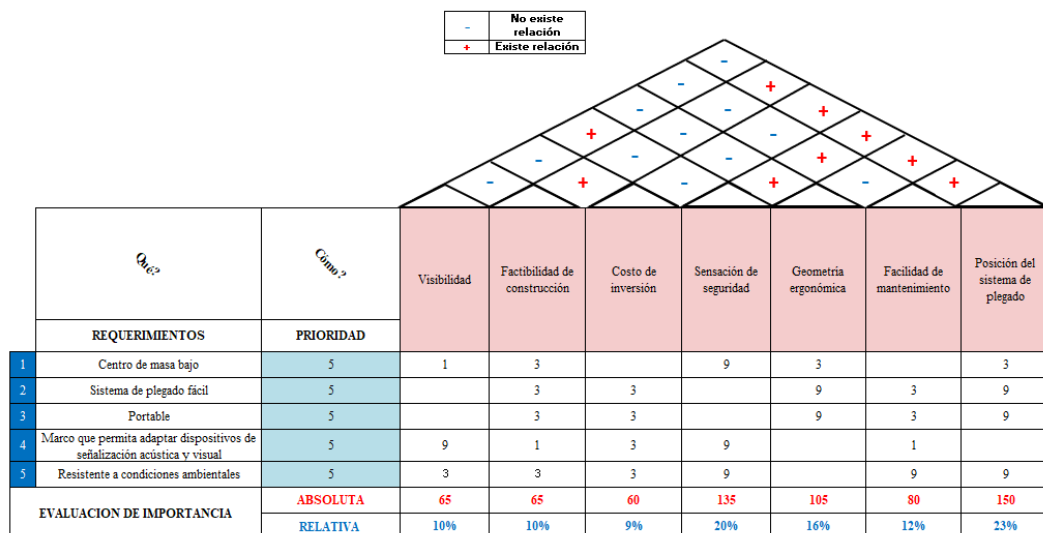
La Matriz QFD (Quality Function Deployment) es una herramienta utilizada en el desarrollo de productos y servicios para traducir las necesidades y deseos de los clientes en especificaciones técnicas para el diseño del producto o servicio. Es un enfoque sistemático para asegurar que el diseño del producto o servicio satisface las necesidades del cliente.

4.5.1.1. Selección del diseño del marco. Los requerimientos técnicos que se evaluarán serán la visibilidad, la factibilidad de construcción, el costo de inversión, la sensación de seguridad, que tenga una geometría ergonómica, la facilidad de mantenimiento y la posición del sistema de plegado.

La figura 25 muestra la matriz QFD para identificar los requerimientos técnicos con mayor relevancia para poder seleccionar la mejor alternativa.

Figura 25

Matriz QFD del diseño estructural







Al analizar la matriz se puede evidenciar que, para los requerimientos del marco, los “¿cómo?” o requerimientos técnicos de mayor relevancia para que el diseño de la estructura de la bicicleta cumpla con los requerimientos establecidos son la sensación de seguridad, la geometría ergonómica y la posición del sistema de plegado.

La sensación de seguridad en el diseño del marco de una bicicleta es crucial para la selección del diseño, ya que un marco que inspira seguridad mejora la comodidad y reduce el riesgo de accidentes. La geometría ergonómica del marco asegura una postura adecuada, disminuyendo la fatiga y el riesgo de lesiones, y optimiza la eficiencia del pedaleo al permitir ajustes según la estatura y forma del ciclista. La posición del sistema de plegado debe ser intuitiva y no comprometer la integridad estructural, facilitando el plegado y transporte de manera rápida y práctica, además debe estar ubicado en un lugar en el cual no sea tan expuesto a golpes.

La matriz de selección expuesta en la figura 26, muestra la selección final del diseño estructura teniendo en cuenta los requerimientos técnicos mencionados anteriormente, asignando una puntuación de 0 a 10 para cada alternativa.

Figura 26

Matriz de selección del diseño estructural

Alternativa	Sensación de seguridad	Geometría ergonómica	Posición del sistema de plegado	Total
	1	9	1	11
	1	9	9	19
	3	9	9	21
	5	4	2	11

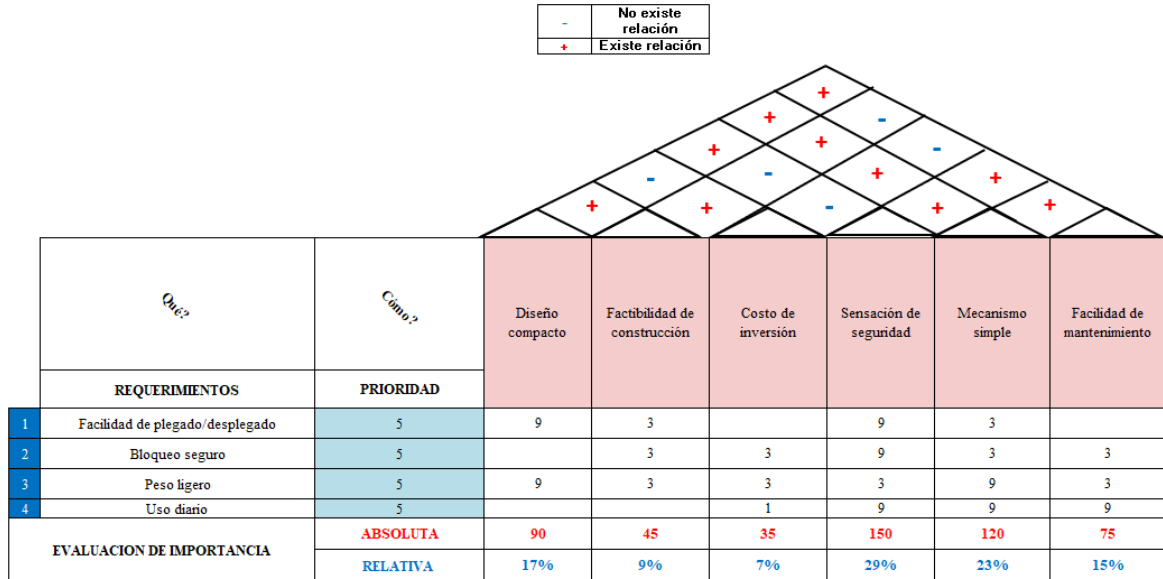
Como se aprecia la mejor alternativa según la sensación de seguridad, la geometría ergonómica y la posición del sistema de plegado, es la alternativa 3. Ya que es la que menos compromete al mecanismo de plegado, al no estar en una posición vulnerable, además de cumplir los demás requerimientos.

4.5.1.1. Selección del mecanismo de plegado. Los requerimientos técnicos que se evaluarán serán lo compacto, la factibilidad de construcción, costo de inversión, la sensación de seguridad, que sea un mecanismo simple y fácil de realizarle mantenimiento.

La Figura 27 presenta la matriz QFD utilizada para determinar los requerimientos técnicos más relevantes y así elegir la mejor alternativa de mecanismo de plegado.

Figura 27

Matriz QFD del mecanismo de plegado



Los requerimientos técnicos de mayor relevancia son la sensación de seguridad, que el mecanismo sea simple y que sea compacto.

La sensación de seguridad es fundamental, un mecanismo de plegado que inspire confianza minimiza el riesgo de fallos durante la conducción. Esto es especialmente importante para prevenir accidentes, ya que un sistema seguro reduce la posibilidad de que la bisagra se pliegue accidentalmente mientras se está montando o conduciendo.

En segundo lugar, un mecanismo simple es esencial para la facilidad de uso. Un diseño intuitivo permite que los usuarios plieguen y desplieguen la bicicleta sin complicaciones. Además, un sistema sencillo tiene menos componentes, lo que disminuye el riesgo de fallos mecánicos y facilita el mantenimiento, garantizando así un uso prolongado y sin inconvenientes.

Una bisagra bien diseñada debe permitir que la bicicleta se pliegue de manera eficiente, ocupando el menor espacio posible cuando está en su estado plegado, haciendo que sea más fácil de manejar y almacenar.

Figura 28

Matriz de selección del mecanismo de plegado

Alternativa	Sensación de seguridad	Mecanismo simple	Diseño compacto	Total
	3	9	9	21
	3	3	1	7
	3	3	9	15

La mejor alternativa, según la sensación de seguridad, la geometría ergonómica y la posición del sistema de plegado, es la alternativa 1, la palanca de leva ofrece facilidad de uso, permitiendo un desbloqueo y bloqueo rápidos que facilitan el plegado y desplegado. Este mecanismo proporciona una seguridad robusta, minimizando el riesgo de que la bisagra se abra accidentalmente durante el uso, lo cual es crucial para la seguridad del ciclista. Además, su diseño compacto contribuye a la reducción del tamaño total de la bicicleta al plegarla. La durabilidad del sistema asegura un funcionamiento fiable a lo largo del tiempo, mientras que su capacidad de ajuste permite a los usuarios adaptar la tensión según sus preferencias. En conjunto, estas características hacen del sistema de palanca de leva una opción excelente para garantizar un funcionamiento óptimo y seguro.

4.6. Diseño de detalle

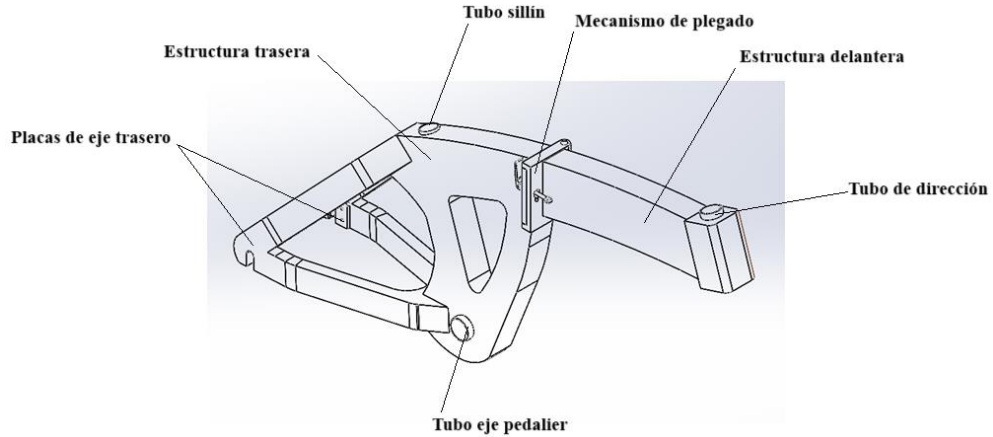
A continuación, se explica el ensamblaje virtual y la selección de materiales para evaluar la estructura de la bicicleta, detectar posibles errores, evaluar su usabilidad y viabilidad. Se ha utilizado el software CAD SolidWorks.

4.6.1. Ensamblaje virtual

Partiendo de este diseño se procede a modelar en SolidWorks el marco de la bicicleta teniendo en cuenta el patrón estructural descrito en la figura 17 y posteriormente realizar los análisis respectivos para validar la estructura. El diseño de la bicicleta está conformado por los elementos expuestos en la figura 29.

Figura 29

Diseño de la bicicleta plegable

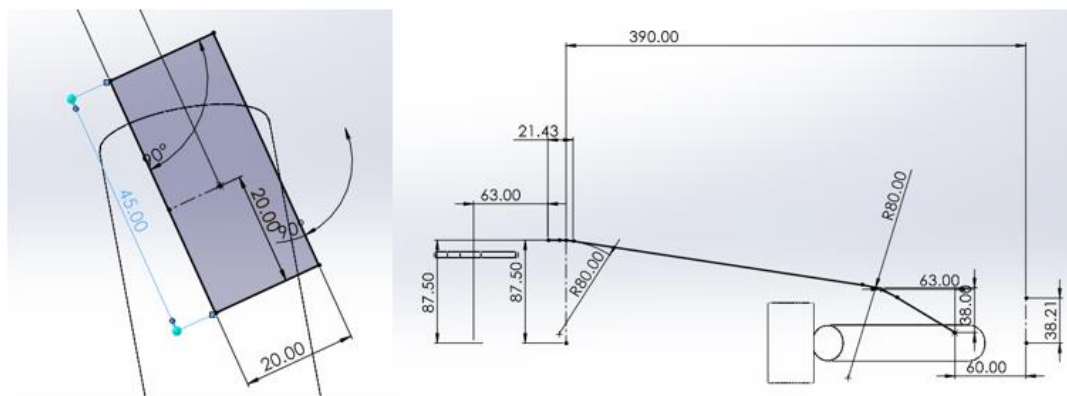


4.6.1.1. Elementos diseñados

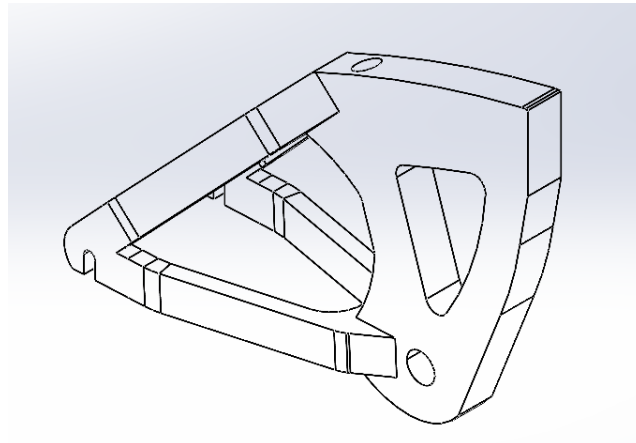
4.6.1.1.2. Estructura trasera. La pieza principal de 45 mm de espesor y las lanzas tienen una sección transversal de 20 mm*45mm tal como lo muestra la figura 29, esta sección transversal va a lo largo de la línea guía mostrada en la figura 30.

Figura 30

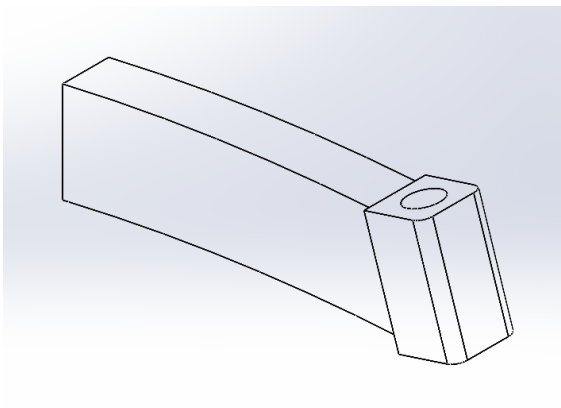
Sección transversal y línea guía de las lanzas



Dando como resultado la estructura que se muestra en la figura 31.

Figura 31*Estructura trasera*

4.6.1.1.3. Estructura delantera. Como muestra la figura 32, de la misma manera que la estructura trasera su espesor es de 45mm y en su parte delantera tiene un agujero de 33 mm de diámetro en donde se ubicara el tubo de dirección.

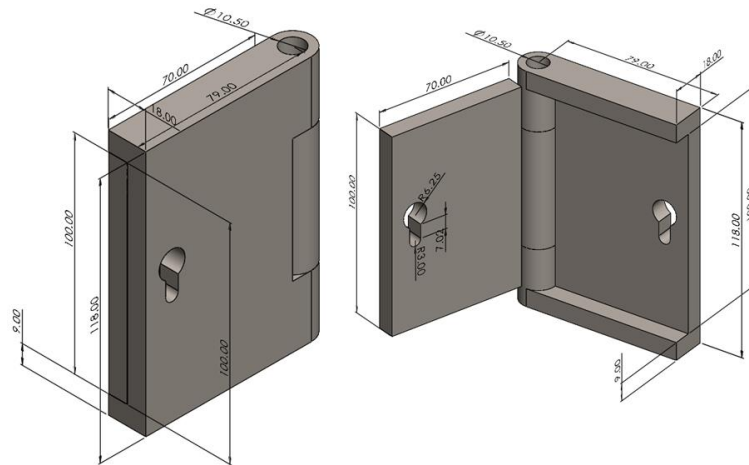
Figura 32*Estructura delantera*

4.6.1.1.4. Mecanismo plegable. De 118 mm de alto por 88 mm de ancho, con un espesor de 18mm está compuesta por un eje central sobre el cual gira el cuadro, placas de soporte que estabilizan el

plegado, tal como muestra la figura 33, pasador y una palanca de leva para mantener las piezas unidas, estos últimos dos no serán incluidos en el prototipado virtual para simplificar los análisis estructurales.

Figura 33

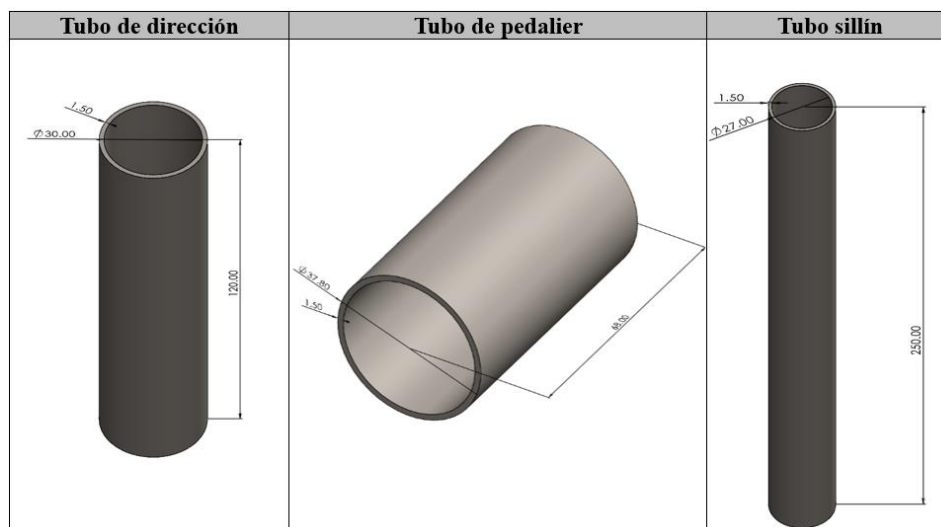
Mecanismo plegable



4.6.1.1.5 Tubo de dirección, tubo de pedalier y tubo del sillín. Las medidas de los respectivos tubos se muestran en la figura 34.

Figura 34

Tubo de dirección, tubo de pedalier, y tubo de sillín



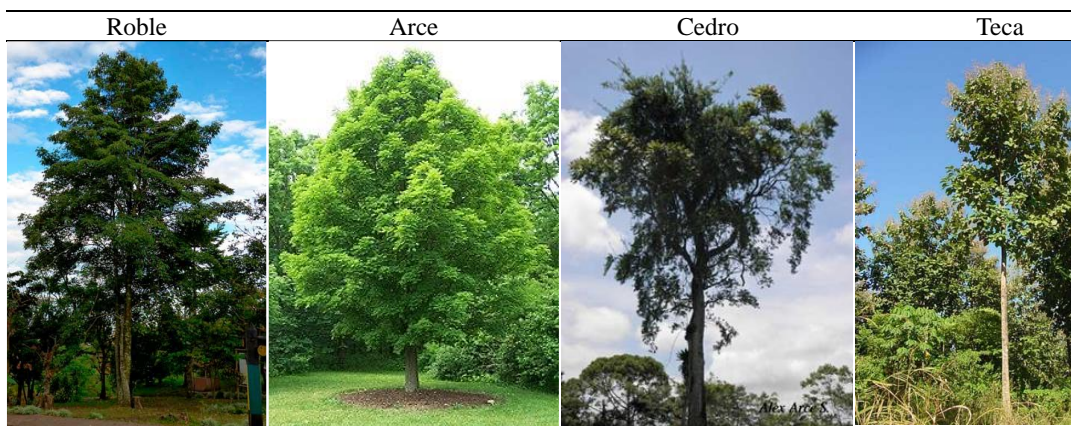
4.6.2. Material del marco

El marco se ha decidido construir en madera ya que, como recurso renovable y sostenible, se alinea con el compromiso de reducir el impacto ambiental en la producción de bicicletas. Su capacidad para absorber vibraciones mejora notablemente la comodidad del ciclista, reduciendo la fatiga en trayectos largos. La flexibilidad inherente de la madera, junto con su estética natural y distintiva, proporciona no solo un rendimiento estructural adecuado sino también un atractivo visual que puede diferenciar el producto en el mercado.

4.6.2.1. Selección de la madera. Diversas especies de madera ofrecen características únicas que deben ser evaluadas en función de sus propiedades mecánicas, su comportamiento frente a las condiciones ambientales a las que estará expuesta la bicicleta y la facilidad de obtención del material en Colombia. Las alternativas de madera se muestran en la tabla 5.

Tabla 5

Alternativas de madera



Nota: Tomado de Forestal maderero (2024). Interpretación de análisis foliares, de <https://www.forestmaderero.com/articulos/item/flor-morado-roble-tabebuia-roseae.html>

4.6.2.1.1. Roble (*Quercus spp.*): El roble, es una madera densa y resistente, ideal para estructuras robustas debido a su durabilidad y capacidad para soportar cargas pesadas. Sin embargo, su peso elevado lo hace menos adecuado para bicicletas plegables, donde la ligereza es clave. Además, en Colombia, el roble es menos común, lo que podría complicar su adquisición y aumentar los costos de producción.

4.6.2.1.2 Arce (*Acer spp.*): El arce, ofrece una buena relación resistencia-peso y es menos pesado que el roble, lo que mejora su portabilidad para una bicicleta plegable. Sin embargo, puede seguir siendo algo pesado para maximizar la portabilidad. Además, al no ser nativo de Colombia, su disponibilidad es limitada y podría requerir importación, aumentando los costos y tiempos de obtención.

4.6.2.1.3 Cedro (*Cedrela odorata*): Esta madera es valorada por su ligereza y resistencia a la humedad, además de su buena estabilidad dimensional. El cedro que se muestra es mucho más ligero que el roble y el arce, lo cual es beneficioso para mantener el peso de la bicicleta bajo control. Además, es una especie común en Colombia, lo que facilita su obtención y reduce los costos asociados al transporte y adquisición. Su ligereza y estabilidad la hacen una opción viable, aunque su resistencia estructural podría no ser tan alta como la de otras maderas más densas.

4.6.2.1.4. Teca (*Tectona grandis*): La teca es una madera duradera, resistente a la intemperie y a insectos, con una buena relación entre peso y robustez, lo que la hace ideal para una bicicleta plegable. Su resistencia natural a la humedad la hace adecuada para diferentes condiciones ambientales, y su amplia disponibilidad en plantaciones comerciales en Colombia asegura un suministro constante y sostenible. Además, su estética elegante agrega valor al diseño de la bicicleta.

La tabla 6 muestra las propiedades de las 4 alternativas de madera para la construcción del marco.

Tabla 6

Propiedades de las maderas para la fabricación del marco

Material	Modulo elástico (N/m ²)	Coefficiente de Poisson	Densidad (Kg/m ³)	Limite elástico (N/m ²)
Madera de roble	1.13E+10	0.3	580	100000000
Madera de arce	1.10E+11	0.3	630	100000000
Madera de cedro	8.06E+9	0.3	490	900000000
Madera de Teca	1.032E+10	0.3	580	100000000

4.6.2.2. Material del marco seleccionado: Tras considerar las propiedades de las diferentes especies de madera y su disponibilidad en Colombia, la teca (*Tectona grandis*) se presenta como la opción más adecuada para la construcción del marco de la bicicleta plegable.

Tabla 7

Propiedades de la madera teca

Propiedades de la madera teca	Valor	Unidades
Modulo elástico	1.032e+10	N/m ²
Coefficiente de Poisson	0.3	N/D
Densidad	580	Kg/m ³
Limite elástico	100000000	N/m ²

Nota: Los datos fueron tomados de Valencia-Escobar et. al (2018) Diseño de bicicletas plegables en madera: una posibilidad real para el uso sostenible de un material renovable y Módulo elástico

y coeficiente de Poisson de madera y derivados. (2024). Sonelastic.com, de <https://www.sonelastic.com/es/fundamentos/tablas-propiedades-materiales/maderas.html>

4.6.3. Material de los demás componentes

Acero y aluminio son las opciones para el material del sistema plegable, tubo del eje de pedalier, el tubo de dirección y el tubo del sillín, para la selección se deben tener en cuenta factores como el presupuesto, la resistencia, la durabilidad, el peso, entre otros.

Para seleccionar el material más adecuado se realizó la matriz de comparación mostrada en la tabla 8.

Tabla 8

Matriz de comparación acero-aluminio

Característica	Acero	Aluminio
Peso	Más pesado (densidad aprox. 7.8 g/cm ³)	Más ligero (densidad aprox. 2.7 g/cm ³)
Resistencia a la corrosión	Altamente sensible a la oxidación	Alta resistencia a la corrosión debido a la capa de óxido de aluminio que se forma naturalmente
Fuerza y dureza	Generalmente más fuerte y duro (alto módulo de elasticidad)	Menor dureza, pero algunas aleaciones de aluminio son bastante fuertes
Maleabilidad y ductilidad	Menos maleable, aunque puede ser trabajado con calor	Muy maleable y se puede trabajar fácilmente sin necesidad de calor
Costo	Más barato en términos generales	Más costoso
Resistencia a impactos	Resiste mejor los impactos fuertes	Menos resistencia a impactos fuertes

En base a esto el material escogido es el acero, a pesar de que es más pesado que el aluminio es más económico y ofrece una mejor resistencia y dureza, particularmente se eligió un acero usado comúnmente para la elaboración de partes y marcos de bicicleta, el acero al cromo molibdeno o acero 4130 el cual tiene las propiedades expuestas en la tabla 9.

Tabla 9*Propiedades del acero 4130*

Propiedades acero 4130	Valor	Unidades
Modulo elástico	2.05E+11	N/m ²
Coefficiente de Poisson	0.32	N/D
Densidad	7850	Kg/m ³
Limite elástico	710000000	N/m ²

Nota: Los datos fueron tomados de la librería del software SolidWorks

Se les aplica los respectivos materiales y se prosigue a realizar la validación, el ensamblaje virtual obtenido se muestra en la figura 35.

Figura 35*Ensamblaje virtual*

5. Fase 2: Validación

En esta sección del proyecto, se realizan una serie de estudios de esfuerzos mecánicos para verificar la resistencia de la estructura diseñada usando el software SolidWorks, además, se aplicará parte de la metodología de ensayo del cuadro de la norma ISO 4210-6:6 2014 apartado 4.

5.1. Estudio de fuerzas

Las fuerzas que se ejercen al conducir una bicicleta se reparten principalmente en el sillín, el manillar y en los pedales, dependiendo si se conduce sentado o solamente apoyado en los pedales y el manillar, en este último caso, con respecto al manillar, las fuerzas se aplican en los extremos y no son iguales, ya que si fuesen iguales no se podría contrarrestar el vuelco lateral que producen las fuerzas en los pedales, estas últimas son más relevantes ya que estas se transfieren a la rueda trasera a través de la cadena permitiendo el movimiento de la bicicleta.

Para validar la estructura se analizarán las situaciones más comunes en un entorno urbano, manejando en una recta, normalmente se pedalea estando sentado y dos situaciones que son consideradas críticas, cuando empieza a pedalear desde el reposo y cuando sube una pendiente, en estas el ciclista pedalea sin sentarse en el sillín; esta posición de manejo permite al ciclista inclinar la bicicleta de lado a lado y tirar del manillar, logrando ejercer fuerzas superiores que el propio peso de él.

La tabla 10 muestra los valores de las fuerzas que ejerce un usuario de 100Kg (carga máxima a soportar) en diferentes casos, las cargas fueron calculadas teniendo en cuenta que los pedales están en posición horizontal por lo tanto la carga en los pedales es solo vertical, ignorando el peso y la inclinación de la bicicleta (Hormaetxce, 2019).

Tabla 10*Cargas aplicadas en diferentes situaciones*

Carga \ Caso	Subiendo una pendiente		Empezando a pedalear		Pedaleando sentado	
	Fuerza en Y (N)	Fuerza en X (N)	Fuerza en Y (N)	Fuerza en X (N)	Fuerza en Y (N)	Fuerza en X (N)
Pedal derecho	-1088.4	0.0	-2148.6	0.0	-460.3	0.0
Pedal izquierdo	26.7	0.0	544.9	0.0	0.0	0.0
Manillar derecho	286.6	-84.6	1051.3	-129.2	144.0	0.0
Manillar izquierdo	-204.9	-25.2	-427.6	-129.2	-108.4	0.0
Sillín	0.0	0.0	0.0	0.0	-555.3	0.0
Reacciones						
Rueda delantera	445.5	0.0	298.5	0.0	311.8	0.0
Rueda trasera	534.5	109.9	681.5	258.4	668.2	0.0
Resultante vertical	980.0	0.0	980.0	0.0	980.0	0.0

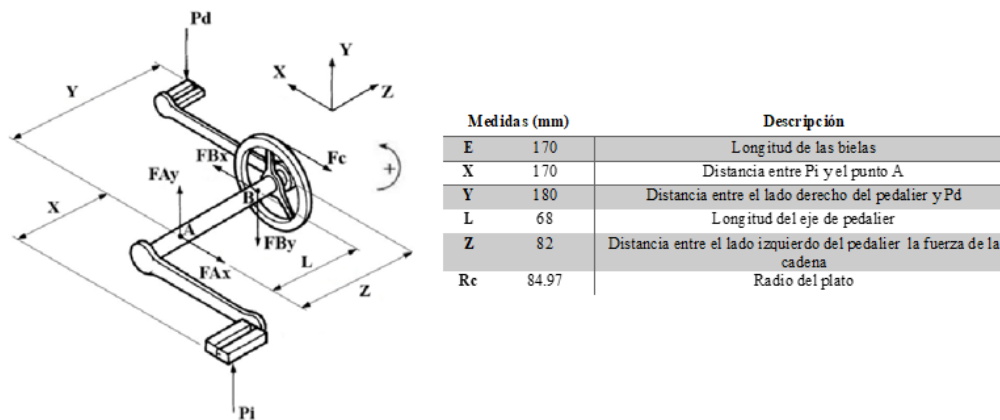
Nota: Los datos de las fuerzas que actúan sobre el marco (como la fuerza gravitacional y las fuerzas de reacción) están directamente relacionadas con el peso de la persona se tomaron las fuerzas estimadas por el autor para un usuario de 67 Kg y se realizó una regla de 3 para obtener los datos de la tabla, tener en cuenta que se asume que la fuerza en el eje Y es positiva si va hacia arriba y la fuerza en el eje X es positiva si va hacia adelante.

La figura 36 representa las fuerzas en el pedalier y las dimensiones de este, se plantea un sistema de equilibrio estático del eje de pedalier para calcular las fuerzas que se transmiten al marco desde los pedales mediante los rodamientos ubicados en la caja de este para cada uno de los casos de carga que se analizarán.

Las fuerzas se aplican en los extremos de los pedales y en el borde de la caja de pedalier, un caso extremo, poniendo a prueba la estructura en una situación crítica.

Figura 36

Fuerza dimensiones en el eje de pedalier



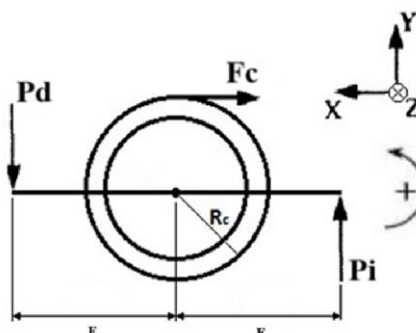
Nota: Donde Pi y Pd son las fuerzas en los pedales izquierdo y derecho respectivamente. Tomado de *Loads, stresses and deflections in bicycle frames* Loads, por, Soden, M.A. Millar, 1986

5.1.2. Subiendo una pendiente

Para empezar, es necesario hallar el valor de la fuerza de la cadena Fc, esto se hace mediante un equilibrio de momentos en A respecto al eje Z, véase la figura 37.

Figura 37

Vista lateral del eje de pedalier



Nota: La longitud de las bielas es de 170 mm y Rc corresponde al radio de un plato de 42 dientes (84.97 mm) (Hormaetxe, 2019)

$$P_i = 26.7N, \quad P_d = 1088.4N$$

$$\sum M_{AZ} = 0 \rightarrow P_d * E + P_i * E = F_C * R_C$$

Donde Pd es la fuerza aplicada en el pedal derecho, Pi la aplicada en el pedal izquierdo, y E la longitud de las bielas

$$1088.4N * 170mm + 26.7N * 170mm = F_C * 84.97mm$$

$$F_C \cong 2231.029N$$

Ahora para hallar las fuerzas en A y B se plantea un equilibrio de momentos y fuerzas de la siguiente manera:

$$\sum M_{AX} = 0 \rightarrow P_i * X + F_{BY} * L + P_d * Y = 0$$

$$26.7N * 170mm + F_{BY} * 68mm + 1306.1N * 180mm = 0$$

$$F_{BY} \cong -2947.86N$$

$$\sum F_Y = 0 \rightarrow P_i + F_{AY} - F_{BY} - P_d = 0$$

$$26.7N + F_{AY} - (-2947.86N) - 1088.4N = 0$$

$$F_{AY} \cong -1886.2N$$

$$\sum M_{AY} = 0 \rightarrow F_{BX} * L - F_C * Z = 0$$

$$F_{BX} * 68mm - 2231.029N * 85mm = 0$$

$$F_{BX} \cong 2788.78N$$

$$\sum F_X = 0 \rightarrow -F_C - F_{AX} + F_{BX} = 0$$

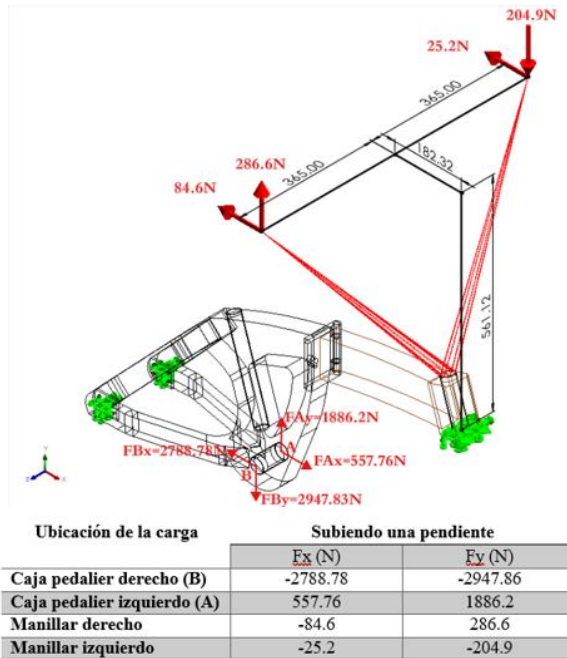
$$-2231.029N - F_{AX} + 2788.78N = 0$$

$$F_{AX} \cong 557.76$$

La figura 38 muestra las fuerzas obtenidas en cada punto de carga del eje de pedaliar al subir una pendiente.

Figura 38

Diagrama de fuerzas aplicadas en el marco al subir una pendiente



Se aplican las restricciones, los esfuerzos y los materiales específicos a cada uno de los componentes, y luego se lleva a cabo el estudio, se evalúan los esfuerzos, deformaciones y factor de seguridad mínimo de la estructura.

5.1.3. Empezando a pedalear

El procedimiento es el mismo que en el caso anterior, se empieza calculando la fuerza en la cadena y se realiza equilibrios de momentos en A y sumatorias de fuerza:

$$R_c = 84.97mm, \quad P_i = 544.9N, \quad P_d = 2148.6N$$

$$\sum M_{Az} = 0 \rightarrow P_d * E + P_i * E = F_c * R_c$$

$$2148.6N * 170mm + 544.9N * 170mm = F_c * 84.97mm$$

$$F_c \cong 5388.93N$$

$$\sum M_{Ax} = 0 \rightarrow P_i * X + F_{By} * L + P_d * Y = 0$$

$$544.9N * 170mm + F_{By} * 68mm + 2148.6N * 180mm = 0$$

$$F_{By} \cong -7049.75N$$

$$\sum F_Y = 0 \rightarrow P_i + F_{A_Y} - F_{B_Y} - P_d = 0$$

$$544.9N + F_{A_Y} - (-7049.75N) - 2148.6N = 0$$

$$F_{A_Y} \cong -5446.12N$$

$$\sum M_{A_Y} = 0 \rightarrow F_{B_X} * L - F_C * Z = 0$$

$$F_{B_X} * 68mm - 5388.9N * 85mm = 0$$

$$F_{B_X} \cong 6736.17N$$

$$\sum F_X = 0 \rightarrow -F_C - F_{A_X} + F_{B_X} = 0$$

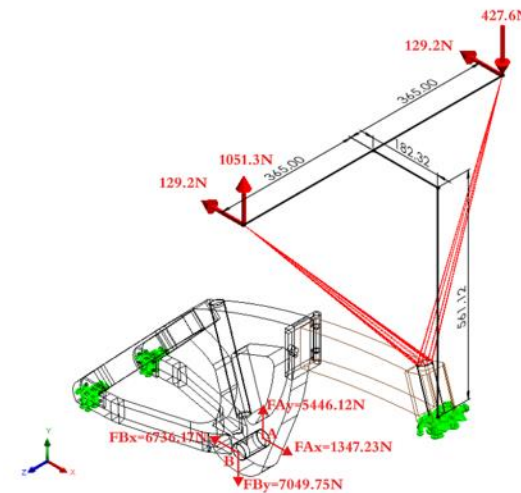
$$-53388.93N - F_{A_X} + 6736.16N = 0$$

$$F_{A_X} \cong 1347.23$$

La figura 39 muestra las fuerzas obtenidas en cada punto de carga del eje de pedalier cuando se empieza a pedalear.

Figura 39

Diagrama de fuerzas aplicadas en el marco al empezar a pedalear desde el reposo



Ubicación de la carga	Empezando a pedalear	
	Ex (N)	Fy (N)
Caja pedalier derecho (B)	-6736.17	-7049.75
Caja pedalier izquierdo (A)	1347.23	5446.12
Manillar derecho	-129.2	1051.3
Manillar izquierdo	-129.2	-427.6

Al igual que en la simulación anterior, se aplicaron las restricciones, los esfuerzos y los materiales específicos a cada uno de los componentes. Posteriormente, se realizó el estudio, evaluando los esfuerzos, las deformaciones y el factor de seguridad mínimo de la estructura.

5.1.4. Pedaleando sentado.

Al igual que en los otros dos casos se empieza calculando la fuerza en la cadena:

$$R_C = 84.97mm, \quad P_d = 460.3N$$

$$\sum M_{Az} = 0 \rightarrow P_d * E = F_C * R_C$$

$$460N * 170mm = F_C * 84.97mm$$

$$F_C \cong 920.93N$$

$$\sum M_{Ax} = 0 \rightarrow F_{By} * L + P_d * Y = 0$$

$$F_{By} * 68mm + 460.3N * 180mm = 0$$

$$F_{By} \cong -1218.45N$$

$$\sum F_Y = 0 \rightarrow F_{Ay} - F_{By} - P_d = 0$$

$$F_{Ay} - (-1218.45N) - 460.3N = 0$$

$$F_{Ay} \cong -758.1N$$

$$\sum M_{Ay} = 0 \rightarrow F_{Bx} * L - F_C * Z = 0$$

$$F_{Bx} * 68mm - 920.93N * 85mm = 0$$

$$F_{Bx} \cong 1151.16N$$

$$\sum F_X = 0 \rightarrow -F_C - F_{Ax} + F_{Bx} = 0$$

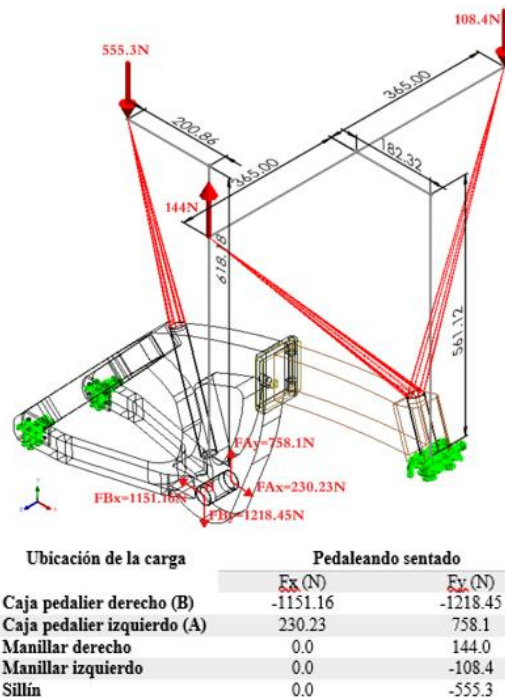
$$-920.93N - F_{Ax} + 1151.16N = 0$$

$$F_{Ax} \cong 270.23$$

La figura 40 muestra las fuerzas obtenidas en cada punto de carga del eje de pedalier cuando se pedalea sentado.

Figura 40

Diagrama de fuerzas aplicadas en el marco al pedalear sentado



5.1.5 Resultados de los análisis

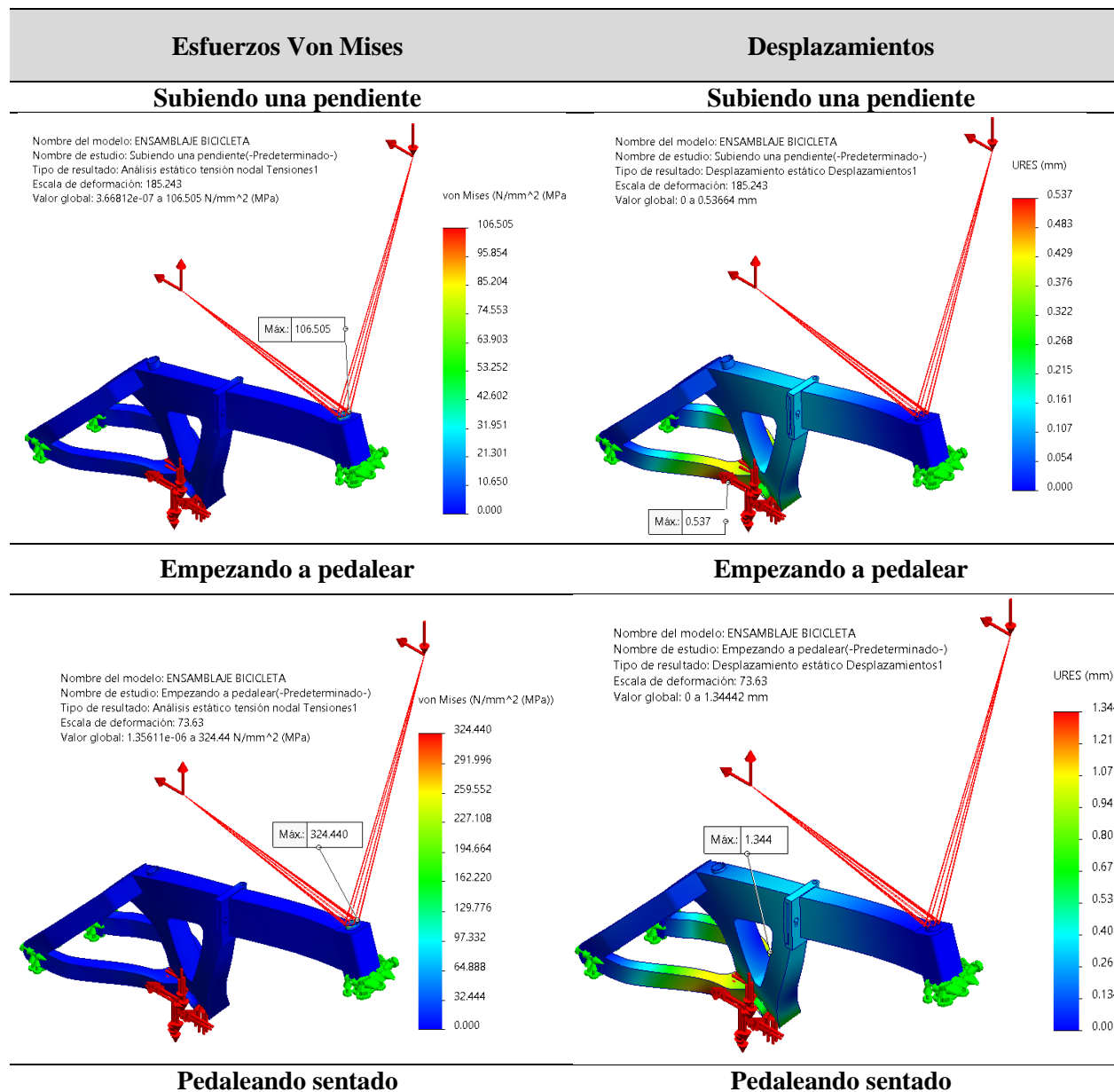
Los resultados se muestran en la tabla 11 y en la tabla 12, en el análisis subiendo una pendiente el esfuerzo máximo es de 106.506 MPa, la deformación máxima es de 0.537 mm y el factor de seguridad mínimo es de 4.3, cabe resaltar que las cargas en el manillar se pusieron en su punto más crítico, a 480 mm del tubo de dirección, que es cuando se extiende totalmente el vástago usado comúnmente en estas direcciones.

En el análisis empezando a pedalear el esfuerzo máximo registrado fue de 324.440 MPa, la deformación máxima de 1.344 mm y el factor de seguridad mínimo de 1.7, en este caso es necesario aplicar más esfuerzo que subiendo la pendiente ya que se debe romper la inercia para poder moverse.

Pedaleando sentado si hay carga en el sillín, esta se aplica como una carga remota en el punto más crítico, a la distancia máxima que puede estar la tija del tubo de sillín, 400 mm, el esfuerzo máximo es de 54.049 MPa, el desplazamiento máximo es de 0.179 mm y el factor de seguridad mínimo es de 12.3.

Tabla 11

Resultados de los análisis esfuerzos Von Mises y desplazamientos



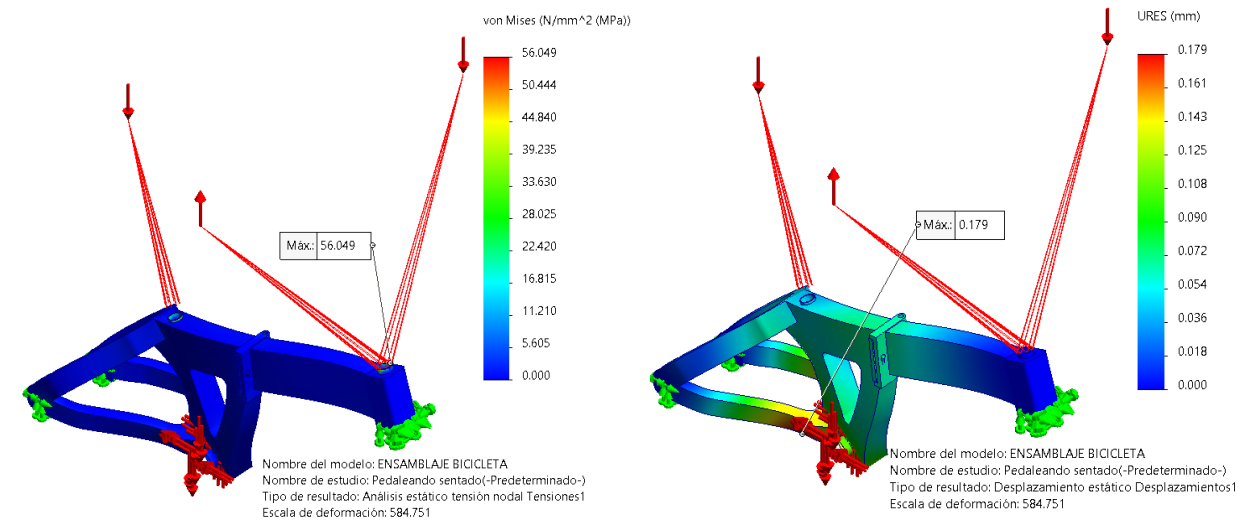
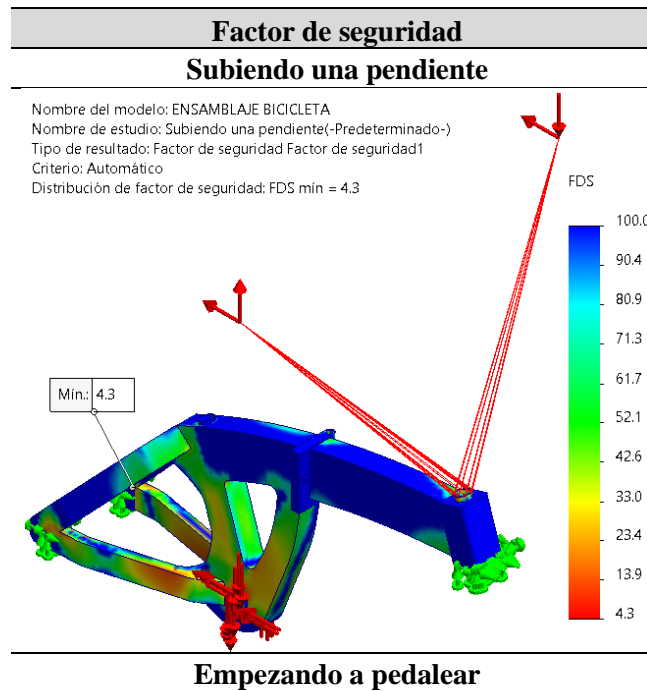
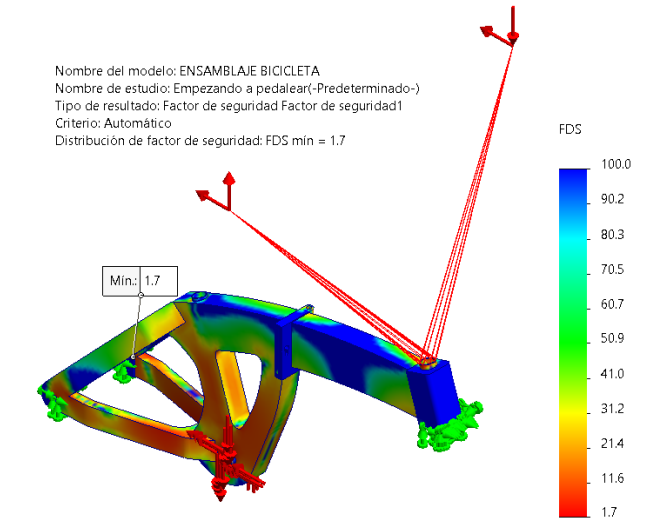


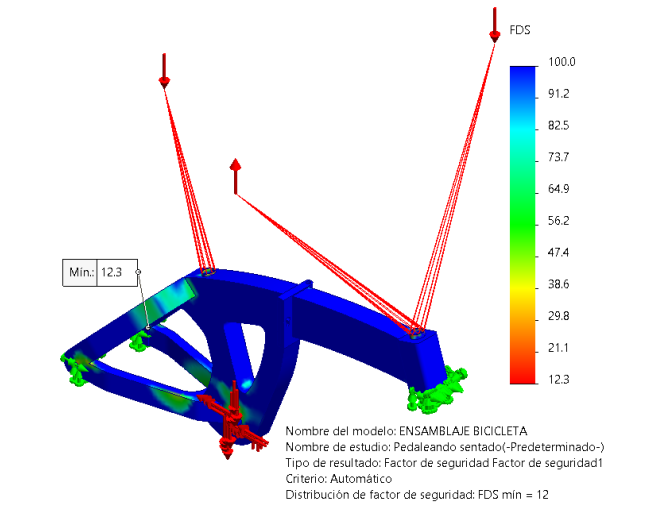
Tabla 12

Factor de seguridad





Pedaleando sentado



Los valores obtenidos se resumen en la tabla 13.

Tabla 13

Tabulación de resultados de los análisis

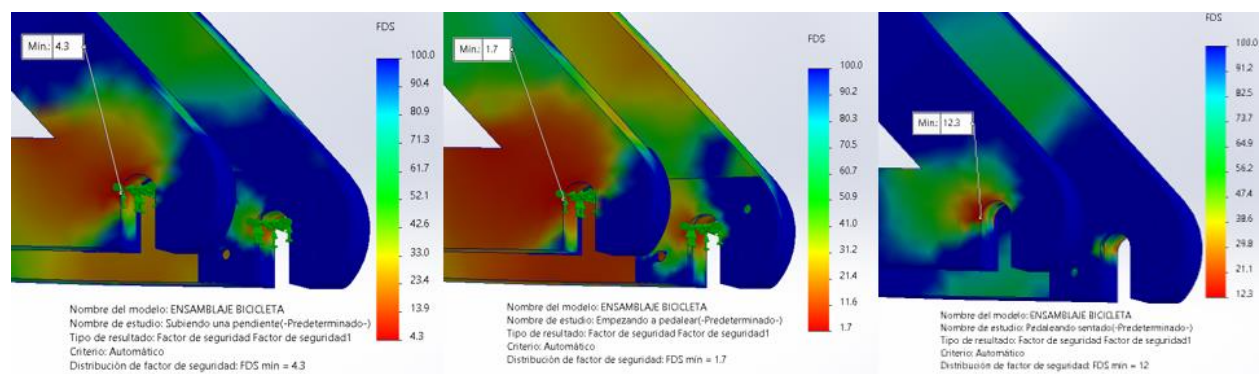
	Subiendo una pendiente	Empezando a pedalear	Pedaleando sentado
Esfuerzo maximo (MPa)	106.51	324.44	54.05
Desplazamiento maximo (mm)	0.54	1.34	0.18
Factor de seguridad minimo	4.3	1.7	12.3

Con los resultados obtenidos se puede evidenciar que la estructura soporta los casos de carga y por lo tanto se prosigue con la construcción de un prototipo a escala real para validar el diseño y confirmar los resultados obtenidos, de todas las situaciones analizadas la más crítica es al empezar a pedalear, los esfuerzos son muchos más altos en este caso debido a que es necesario superar la inercia inicial, lo que requiere una mayor fuerza aplicada a los pedales. Esto genera tensiones más altas en el marco, ya que además de vencer la resistencia de fricción, se debe acelerar la bicicleta desde un estado de reposo. Además, la fuerza aplicada es generalmente asimétrica al comenzar a pedalear, lo que provoca una torsión adicional en el marco. Una vez en movimiento, estos esfuerzos disminuyen al estabilizarse el pedaleo y la velocidad.

Algo que se tendrá en cuenta en la fabricación del prototipo es el hecho de que como se muestra en la figura 41 en las 3 situaciones el factor de seguridad mínimo se encuentra en el eje trasero, a pesar de que los factores son mayores a uno significa que hay una concentración de esfuerzos en ese punto, para minimizarlos esta parte de la estructura se modificara.

Figura 41

Factor de seguridad mínimo al pedalear sentado

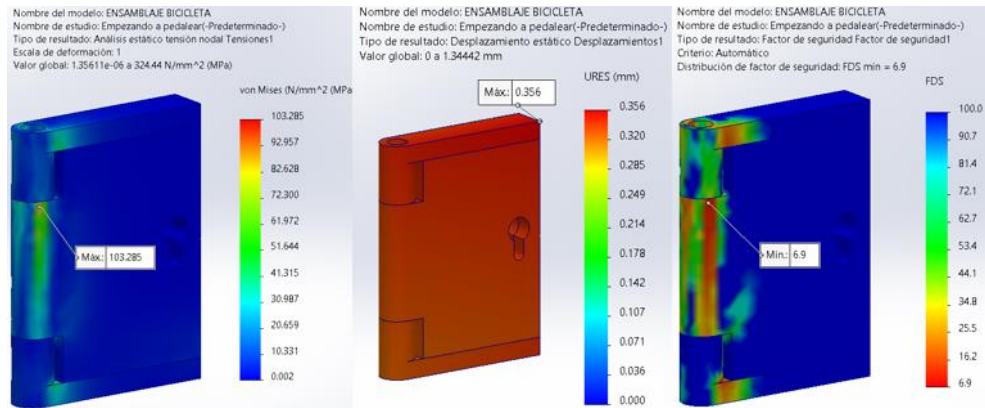


Respecto a la bisagra vemos que es segura y cumple su función, la figura 42 muestra a detalle los esfuerzos de esta en el caso más crítico, asimismo desplazamientos y factor de seguridad

mínimo, donde se ve que el esfuerzo máximo que la bisagra soporta es de 103.285 MPa, el desplazamiento máximo es de 0.356 mm y el factor de seguridad mínimo es de 6.9 asegurando así que la bisagra resiste la fuerza aplicada en el caso más crítico.

Figura 42

Esfuerzos, desplazamientos y factor de seguridad caso crítico



5.2 Ensayo propuestos por la norma ISO 4210-6:2015

La norma ISO 4210-6:2014 establece procedimientos específicos para realizar ensayos de fatiga en bicicletas, diseñados para evaluar la resistencia de los componentes y ensamblajes bajo cargas cíclicas repetitivas, simulando así el desgaste acumulativo que ocurre durante el uso prolongado. Sin embargo, en este estudio no se llevará a cabo el ensayo de fatiga como lo especifica la norma, debido a varias consideraciones relacionadas con las propiedades de la madera.

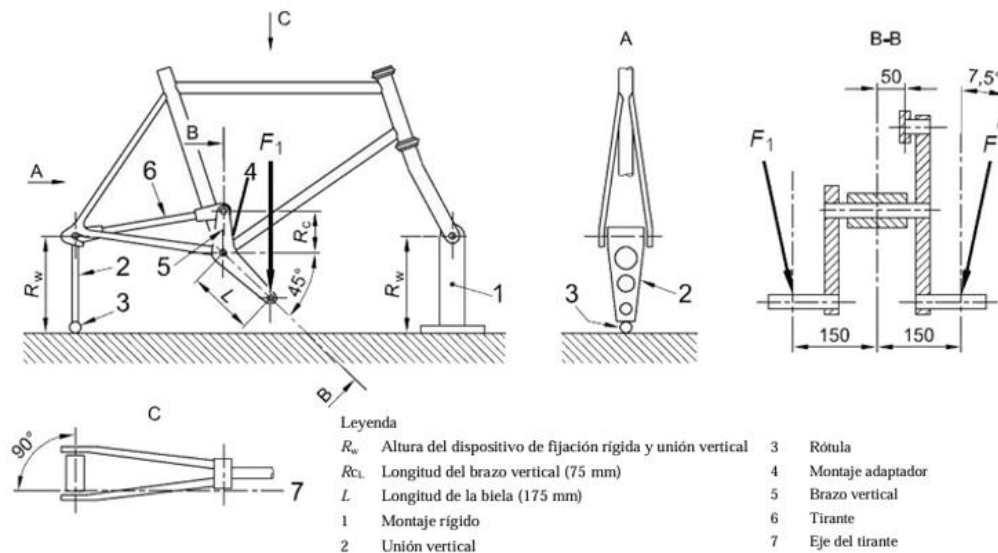
El ensayo de fatiga implica someter el material a una serie de ciclos de carga a lo largo del tiempo, lo cual permite prever cómo se comportará la estructura en condiciones repetitivas y acumulativas de carga. Para realizar un análisis de fatiga en SolidWorks, es necesario contar con la curva S-N del material, que representa la relación entre la tensión aplicada y el número de ciclos hasta la falla. Esta curva es fácil de caracterizar para materiales homogéneos como los metales; sin

embargo, en el caso de la madera, resulta complicado obtenerla debido a la naturaleza anisotrópica del material.

Por esta razón, en lugar de realizar un ensayo de fatiga cíclico, se optará por un análisis de resistencia estática mediante la aplicación de cargas aumentadas en SolidWorks. Esta metodología permite obtener una visión sobre la resistencia estructural y los posibles puntos críticos del diseño sin la necesidad de simular el proceso cíclico completo. La aplicación de cargas estáticas será al doble de los valores recomendados en la norma para bicicletas de paseo simulando condiciones de uso extremo y proporcionando información sobre el comportamiento del material en situaciones de sobrecarga.

5.2.1 Ensayo con fuerzas de pedaleo

Según la norma, el conjunto cuadro-horquilla se monta sobre una base, como se muestra en la figura 43, con la horquilla (o una falsa horquilla) fijada por su eje a un soporte de fijación de radio R_w (equivalente al radio del conjunto rueda/neumático ± 30 mm). El buje queda libre para girar alrededor de su eje. Las punteras traseras se sujetan a una unión vertical rígida con un eje que se encuentra a la misma altura que el soporte delantero. La parte superior de esta unión puede oscilar alrededor del centro del eje, aunque mantiene rigidez lateral, y la parte inferior está equipada con una rótula.

Figura 43*Ensayo de fatiga con fuerzas de pedaleo*

Nota: El gráfico representa el ensayo de fatiga con fuerzas de pedaleo de la norma ISO 4210-6:2015, las medidas están en mm. Tomado de Organización internacional de Normalización. (2014). Requisitos de seguridad de bicicletas (ISO 4210-6:2014).

Cada eje de pedal es sometido a una fuerza repetitiva F_1 en un punto ubicado a 150 mm del eje del cuadro durante 100000 ciclos, en un plano transversal vertical y con una inclinación de 7.5° respecto al plano longitudinal del cuadro. Durante la aplicación de estas fuerzas de ensayo, se verifica que la fuerza sobre un "eje de pedal" ha disminuido al 5% o menos de su valor máximo antes de comenzar a aplicar la fuerza de ensayo en el otro "eje de pedal", ver tabla 14 figura 44.

Tabla 14*Fuerzas en el eje de pedal*

Tipo de bicicleta	Bicicletas de paseo	Bicicleta para adultos jóvenes	Bicicletas de montaña	Bicicletas de carreras
Fuerza, F_1 (N)	1000	1000	1200	1100

Nota: Tomado de la norma ISO 4210-6

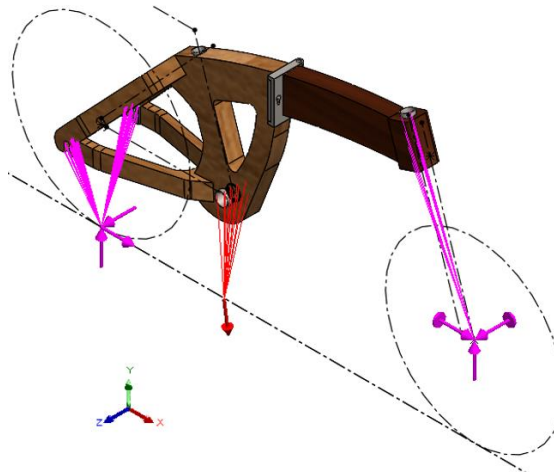
5.2.1.1 Condiciones de carga y contorno. Con el fin de reducir el coste computacional las fuerzas se aplicarán como fuerzas remotas (representadas por flechas de color rojo), haciendo esto se obtienen resultados similares, se hace un mejor mallado del cuadro se simplifica el ensayo al sustituir los componentes mecánicos (Rodríguez, 2017). La fuerza será el doble que la que se aplica para las bicicletas de paseo, 2000 N, se ubica como dice la norma en la figura 44, simulando bielas de 175 mm dirigidas hacia adelante y abajo a 45 grados de la horizontal y a 150 mm del centro del cuadro.

Hay 2 condiciones de contorno, la primera es en el apoyo de la horquilla, se modela como un desplazamiento remoto, aplicado sobre tubo de dirección y ubicado a 1020 mm del eje trasero en donde se ubica la rueda delantera a 250 mm del suelo, lo que corresponde a R_w , el radio del conjunto rueda neumático, en este caso uno de 20in, y se fijan los movimientos traslacionales en los ejes X, Y y Z, y se permiten solo la rotación en el eje Y.

La segunda condición corresponde a las punteras traseras, se modela un desplazamiento remoto sobre el eje trasero ubicado en la rótula del dispositivo de fijación, ubicada a 250 mm en dirección -Y del eje trasero, se bloquean los movimientos traslacionales y por tratarse de una rótula se permite la rotación en los ejes X, Y y Z, como muestra la figura 45.

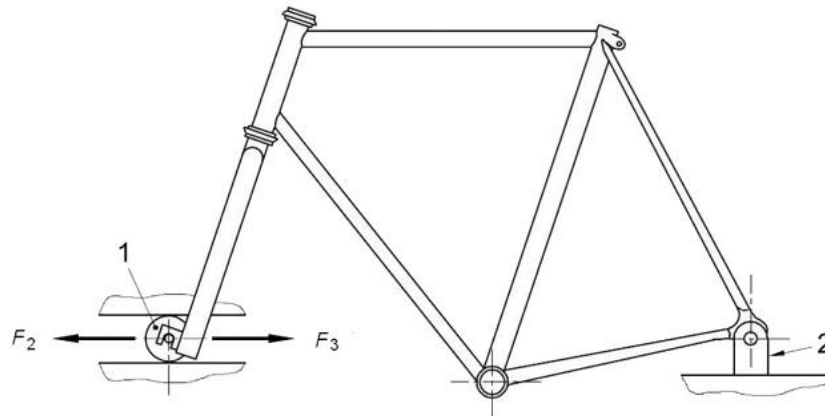
Figura 44

Condiciones de carga y de contorno

**5.2.2 Ensayo con fuerzas horizontales**

Según la norma el cuadro se monta en su posición habitual, fijado por sus punteras traseras de manera que no se limite su rotación (preferiblemente mediante el eje trasero), como se muestra en la figura 45. Se verifica que los centros de los ejes delantero y trasero estén alineados en el plano horizontal.

Se aplican ciclos de fuerzas dinámicas horizontales: una fuerza F_2 hacia adelante y una fuerza F_3 hacia atrás, en las punteras de la horquilla delantera, durante C_1 ciclos, según lo indicado en la figura 61 y la tabla 15. La horquilla delantera permanece bloqueada en la dirección vertical, pero puede desplazarse longitudinalmente bajo el efecto de las fuerzas aplicadas.

Figura 45*Ensayo de fatiga por fuerzas horizontales*

Leyenda

- 1 Rodillo guiado que puede girar libremente
- 2 Montura pivotante rígida para el punto de fijación del eje trasero

Nota: El gráfico representa el ensayo de fatiga por fuerzas horizontales de la norma ISO 4210-6:2015. Tomado de Organización internacional de Normalización. (2014). Requisitos de seguridad de bicicletas (ISO 4210-6:2014).

Tabla 15*Fuerzas y ciclos en las punteras de la horquilla delantera*

Tipo de bicicleta	Bicicletas de paseo	Bicicleta para adultos jóvenes	Bicicletas de montaña	Bicicletas de carreras
Fuerza hacia delante, F2 (N)	450	450	1200	600
Fuerza hacia delante, F3 (N)	450	450	600	600
Ciclo de ensayo, C1	100000	100000	50000	100000

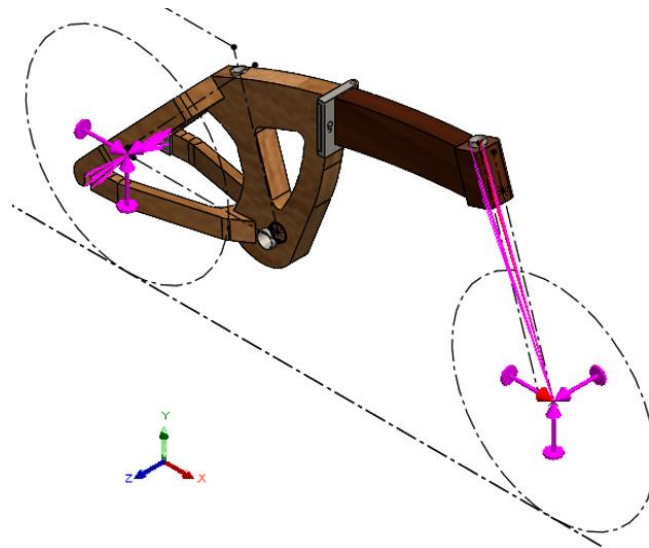
Nota: Tomado de la norma ISO 4210-6

5.2.2.1 Condiciones de carga y de contorno. La fuerza que se aplicará será de 900 N, el doble de lo que establece la norma para bicicletas de paseo, hacia adelante hacia la parte positiva del eje X en el eje delantero en dirección como muestra la figura 61.

Una de las condiciones de contorno se ubica eje trasero sobre la superficie de contacto del cuadro sobre el eje, solo permite la rotación en el eje Z y restringe los movimientos en los ejes X, Y y Z. La otra condición de contorno se ubica en el eje delantero sobre el tubo de dirección restringiendo las rotaciones en los ejes X, Y y Z y solo permitiendo traslación en el eje X para simular el rodillo guiado como muestra la figura 62.

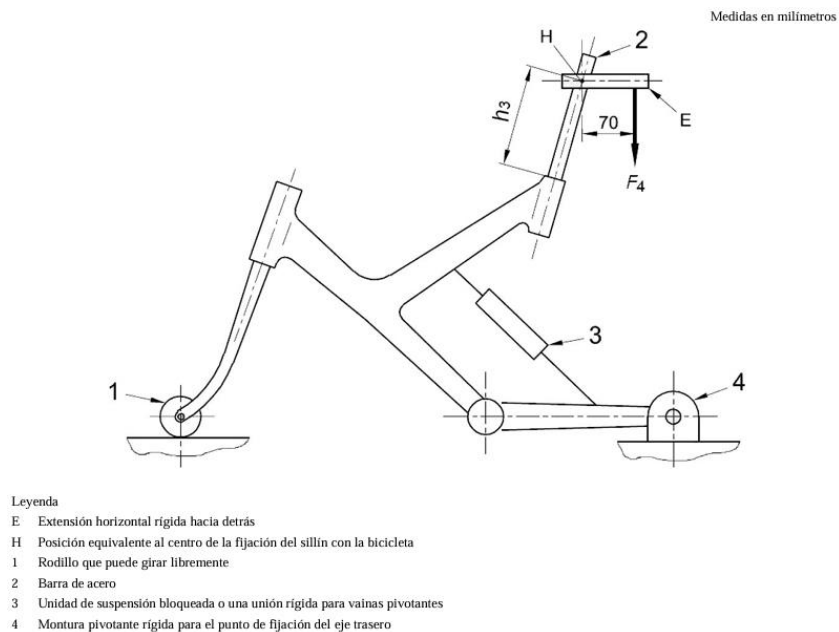
Figura 46

Condiciones de carga y de contorno



5.2.3 Ensayo con una fuerza vertical

Para este ensayo, el cuadro se fija en el eje trasero permitiendo su rotación, con una horquilla simulada apoyada en la base para permitir movimiento longitudinal. Se inserta una tija en el tubo del sillín hasta 75 mm de profundidad y se asegura rígidamente; en su parte superior se fija una extensión horizontal a 250 mm de altura, que representa la altura máxima del sillín. En el extremo de esta extensión, a 70 mm de la unión con la tija, se aplican ciclos de fuerza verticales de valor $F4$, realizando 50,000 ciclos, según se especifica en la Figura 63 y la tabla 16.

Figura 47*Ensayo de fatiga con fuerzas verticales*

Nota: El gráfico representa el ensayo de fatiga por fuerzas verticales de la norma ISO 4210-6:2015. Tomado de Organización internacional de Normalización. (2014). Requisitos de seguridad de bicicletas (ISO 4210-6:2014).

Tabla 16*Fuerzas sobre la tija del sillín*

Tipo de bicicleta	Bicicletas de paseo	Bicicleta para adultos jóvenes	Bicicletas de montaña	Bicicletas de carreras
Fuerza, F4 (N)	1000	500	1200	1200

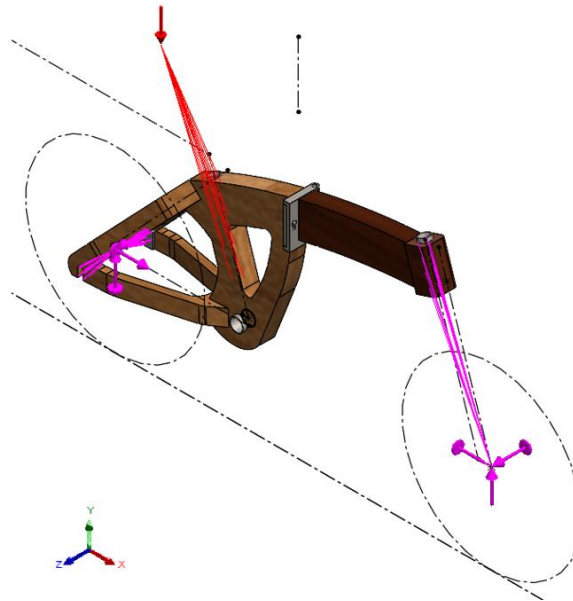
Nota: Tomado de la norma ISO 4210-6

5.2.3.1 Condiciones de carga y de contorno. Como se muestra en la figura 64, se aplicará una fuerza remota de 2000 N ubicada en el tubo del sillín tal y como se ve en la figura 63 a 250 mm que es la altura máxima del sillín.

Al igual que en los dos ensayos anteriores este tiene dos condiciones de contorno, se aplica un desplazamiento remoto ubicado en el eje delantero, sobre el tubo de dirección, se restringe el desplazamiento el Y y Z, al igual que los giros en los ejes X y Z. La segunda condición es en el eje trasero, se aplica del mismo modo que en el ensayo de fuerzas horizontales, restringiendo el movimiento en todos los ejes y solo permite la rotación en el eje Z.

Figura 48

Condiciones de carga y de contorno



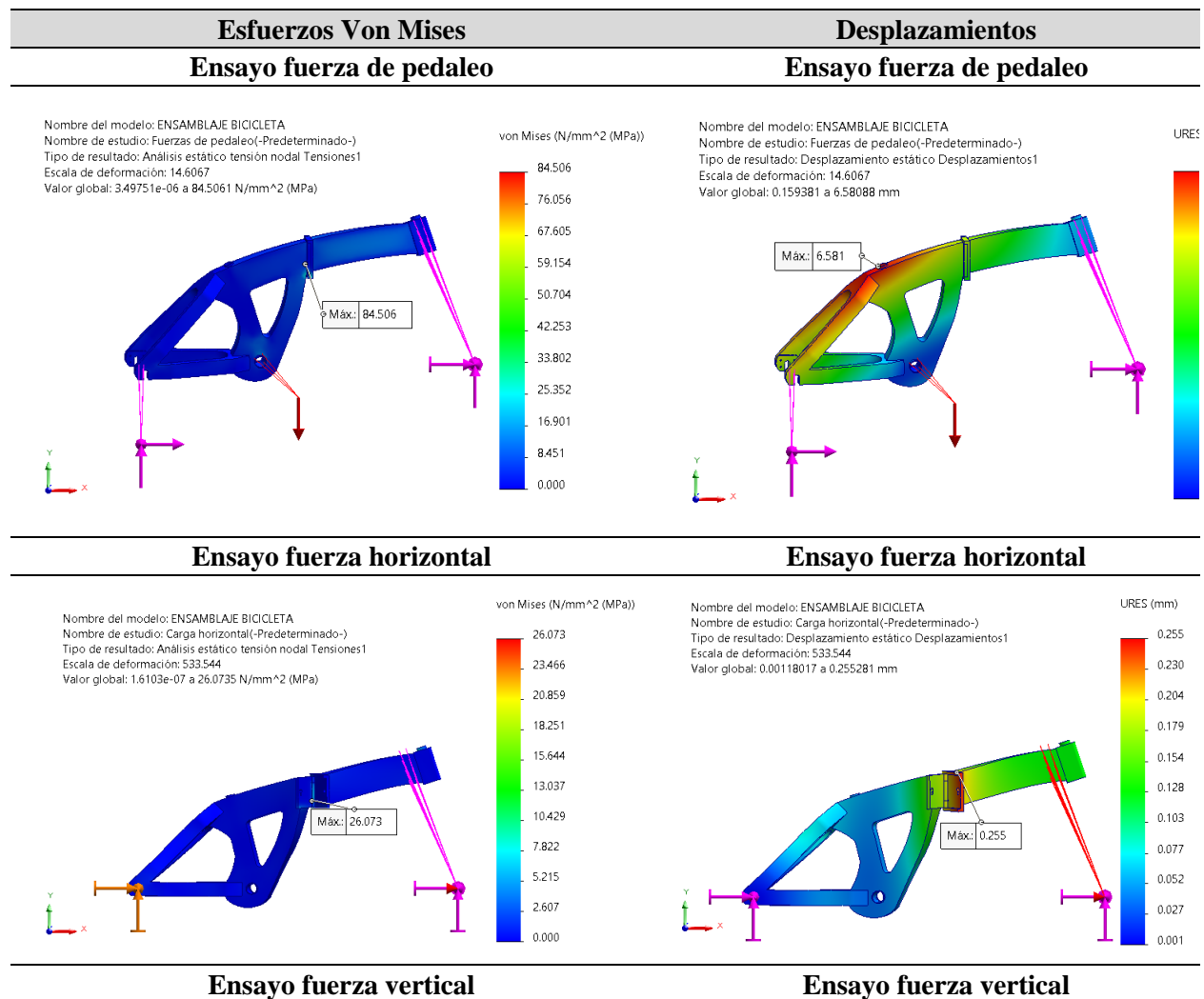
5.2.4 Resultados

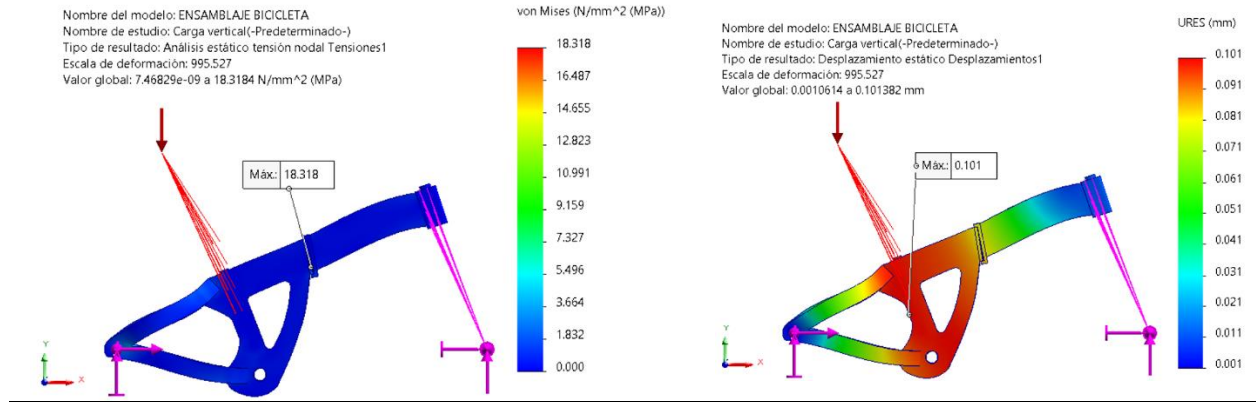
Los resultados mostrados en la tabla 17 y 18, evidencian que la bisagra es un componente crítico, en los tres ensayos el esfuerzo máximo se encuentra en este componente, este es un resultado esperado ya que la bisagra debe mantener las dos partes de la bicicleta juntas, es el área más susceptible a fallas, también podemos ver que el desplazamiento máximo de los tres ensayos sucede en el de fuerza de pedaleo siendo un desplazamiento de 6 mm, esto sucede debido a las condiciones de contorno de este ensayo en donde el eje trasero tiene un desplazamiento remoto

respecto a una rotula como se muestra en la figura 59, la cual permite su rotación respecto a todos los ejes, además se puede comprobar que este ensayo es el más limitante, seguido del ensayo de fuerza horizontal, y, el menos limitante es el de fuerzas verticales, debido a que en este esta el esfuerzo máximo.

Tabla 17

Resultados esfuerzos Von Mises y desplazamientos de los ensayos de la norma ISO 4210-6

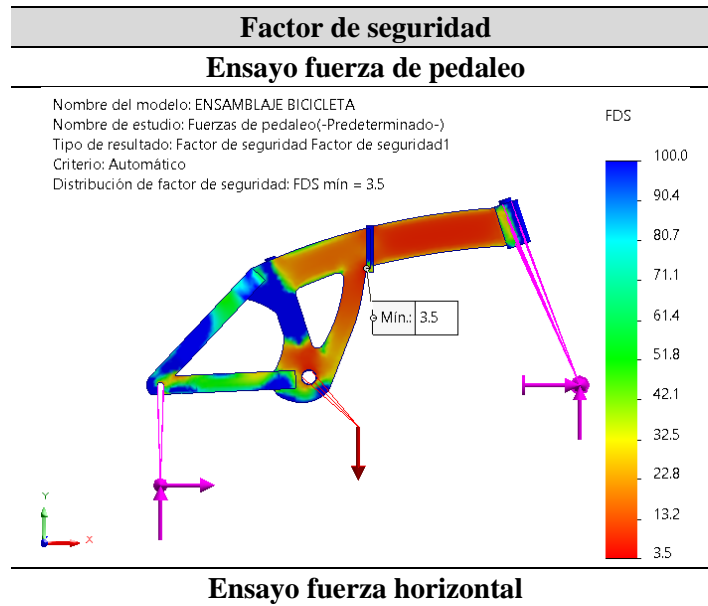


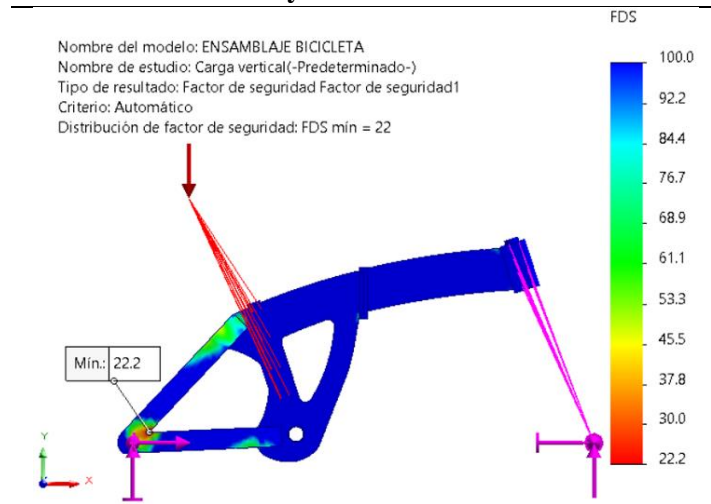
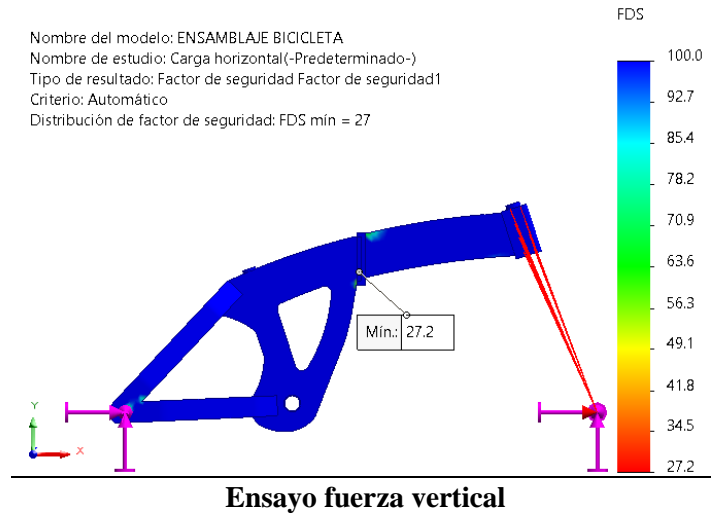


Respecto a los resultados de factor de seguridad de los tres ensayos propuestos por la norma, fuerza de pedaleo, fuerzas horizontales y fuerza vertical tenemos factores de seguridad de 3.5, 27.2 y 22.2 respectivamente, a pesar de que los factores de seguridad son altos, hay que recordar que no se pueden comparar con los resultados que se darían en un ensayo de fatiga.

Tabla 18

Resultados factor de seguridad





La simulación de los ensayos propuestos por la norma ISO 4210-6 permite encontrar los puntos críticos de la estructura y donde puede fallar primero, en este caso los puntos críticos se encuentran en la bisagra y en la unión de las lanzas de la bicicleta con el eje trasero.

Los resultados obtenidos en las simulaciones se resumen en la tabla 19.

Tabla 19

Tabla de resultados de los ensayos de la norma ISO 4210-6

	Esfuerzo maximo (MPa)	Desplazamiento maximo (mm)	Factor de seguridad
Ensayo fuerza de pedaleo	86.51	6.58	3.50
Ensayo fuerzas horizontal	26.07	0.26	27.20
Ensayo fuerza vertical	18.32	0.10	22.2

6. Fase 3: Prototipo

6.1 Construcción y montaje

La construcción de un prototipo es imprescindible en los proyectos de diseño, esto se hace con el fin de identificar posibles áreas de mejoras y fallos a resolver, por esta razón se construye un prototipo a escala real, hecho de madera de mónico y madera compuesta triplex, siguiendo el orden de los procesos según el diagrama de flujo de la figura 49.

Figura 49

Diagrama de flujo fase de construcción



Figura 50

Árbol de móncoro



Nota: Vendo Predio. (21 de enero del 2020). Mónico (Cordia gerascanthus) de Finca La Gloria [Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=vyGeA98t8F8>

Las propiedades fisicomecánicas del moncoro no están muy bien definidas, pero si se sabe que tiene propiedades similares a la madera teca, por lo que para cuestiones prácticas se asumen sus propiedades fisicomecánicas.

La primera parte de la construcción del prototipo fue la fabricación del marco. Empezamos cortando, pegando y prensando los tableros de madera compuesta trípex 15mm para la parte central y delantera del marco como muestra a continuación. Se utilizaron patrones guía impresos a escala para obtener cortes precisos.

Figura 51

Corte, pegado y prensado de tableros trípex



Una vez hechos los cortes se forman piezas compactadas de tres láminas de trípex de 15mm, para así tener las piezas con el grosor y forma requeridas, para esto se aplica cola para madera en las capas de las piezas previamente cortadas, posteriormente se prensan estas capas hasta que la cola endurezca proporcionando la mayor resistencia, esto se logra después de 24 horas aproximadamente.

Cuando la pieza ya está compactada se perfilan las formas finales que va a tener el marco, para esto se utilizan herramientas de corte y lijadora para homogenizar las piezas compactadas. Se debe tener cuidado de respetar las figuras de los patrones impresos, ya que para el anclaje entre piezas se necesitan medidas precisas.

Figura 52

Figuras perfiladas



Lo siguiente fue instalar los tubos al marco donde van acopladas las diferentes piezas de la bicicleta, para esto se usó el mismo método en todos los tubos, que fue perforar la madera a la medida de los tubos, y realizando un corte radial de una ranura de 3mm en la madera. De esta manera con tornillos pasantes se comprime el marco aprisionando los tubos para que queden fijos. Además, se usaron algunos pedazos de trípex de 9mm para reforzar el marco en estas partes, ya que la madera resiste menos los esfuerzos en unas direcciones.

Para el prototipo se hace uso de tornillos y refuerzos, en el producto se pueden realizar cortes de alta precisión de tableros de madera, para unirlos con pegantes especiales y prensarlos, logrando una estructura más homogénea, de esta manera logramos abaratar costes en el prototipo.

Para la parte trasera del marco se utilizaron listones de Mónico, quedando dos piezas para la parte superior y otras dos piezas para la inferior. Estas se unen con un tornillo pasador y luego el resultado de estas dos piezas se acoplan al marco con tornillos autoperforantes para madera.

Figura 53

Presentación previa del marco



Como podemos observar en el marco las piezas encajan bien antes de que se fijen entre si con tornillos y cola para madera. El anclaje de los listones traseros debe ser riguroso, ya que de esto depende que el eje de la rueda trasera quede alineado, evitando así la inestabilidad del prototipo.

Figura 54

Anclaje de placas traseras.

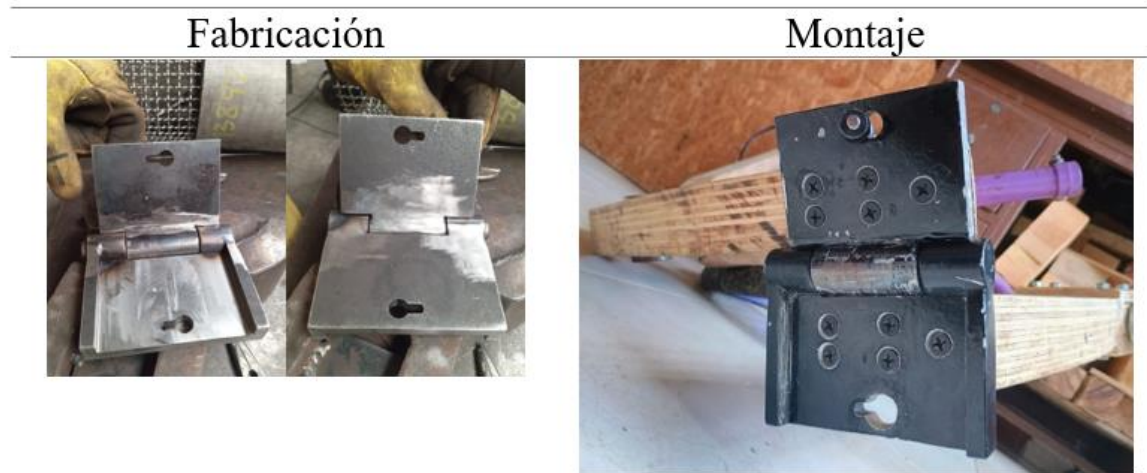


Las placas soporte de la rueda trasera se unen al marco con tronillos pasantes y tuercas, así como vemos en la imagen, estas placas traseras tienen las medidas estándar para el eje de la rueda trasera.

La bisagra se fabricó en acero para abaratar costes, realizando procesos de soldadura, fresado y taladrado, Para esto se sueldan las secciones de tubo correspondiente a dos platinas, para que luego encajen con un pasador. Los agujeros de las platinas para atornillar en el marco deben tener una sección que permita la entrada completa de la cabeza del tornillo, así esta no interfiere al momento de cerrar la bisagra.

Figura 55

Fabricación y montaje de la bisagra



El montaje de la bisagra en el marco se concretó con tornillos autoperforantes de cabeza avellanada, los agujeros en la bisagra para los tonillos tienen la forma de la cabeza para que este encaje y se siga manteniendo el plano en la bisagra.

Finalmente se instalan las diferentes partes de la bicicleta y el sistema eléctrico

Para la instalación del sistema eléctrico se deben realizar todas las conexiones al controlador principal, siempre procurando organizar todo el cableado para evitar problemas con este.

El prototipo final, luego de realizar todos los procedimientos anteriormente descritos se muestra en la figura 56.

Figura 56*Prototipo Finalizado*

La figura 56 muestra la bicicleta plegada, la cual ocupa un espacio de 94 cm de alto, 96 cm de ancho y 75cm de profundidad, esta última es tan grande debido a el manubrio que se esta usando, esto se puede solucionar usando un manubrio plegable, siendo asi la profundidad que ocuparia la bicicleta seria de 36 cm aproximadamente.

El prototipo final tuvo un peso de 19kg, donde solo la bisagra en acero pesa 2kg y el motor 3kg.

6.2 Costos del prototipo

Para la construcción del prototipo se aproximan unos gastos en materiales presentados en la tabla 14.

Tabla 20*Costos del prototipo*

Parte del prototipo	Costo(Cop)
Madera triplex 15mm	24000
Madera liston moncoro	15000
Tornilleria, tercas aradelas	7000
Tubos y platinas Dropouts	30000
Componentes de la bicicleta	120000
Motor y sistema electrico	800000
Bateria y cargador	180000
Bisagra	380000
Total	1556000

Para la madera se buscó optimizar los cortes de tal manera que el desperdicio fuera mínimo. Los componentes de la bicicleta fueron seleccionados de calidad media, ya que para cuestiones del prototipado es suficiente. El motor y el sistema eléctrico es lo más costoso del prototipo, ya que estos no son tan comercializados en Colombia, y los costos de importación se ven reflejados. La bisagra también tuvo un precio elevado al tratarse de una fabricación poco común, para una producción en masa los precios de fabricación se verían bastante reducidos. Comparando el costo del prototipo con el costo de modelos comerciales vemos una disminución considerable en los costos, ya que los modelos comerciales más económicos rondan los dos millones de pesos, mientras que en el prototipo se gastó menos, sabiendo que estos costos pueden optimizarse de mejor manera para una producción masiva.

6.3 Pruebas

Se replicaron las tres situaciones que se simularon en SolidWorks y se evidencio un buen comportamiento de la bicicleta a una carga de 90 kg, confirmando que los análisis y el prototipado virtual fueron correctos y el prototipo de bicicleta eléctrica plegable es funcional.

Las pruebas de manejo se realizaron en las calles de la ciudad de Barrancabermeja, replicando las condiciones simuladas previamente. Las pruebas incluyeron diferentes escenarios de conducción, como el pedaleo desde un estado de reposo, la conducción sentado en terreno plano y el pedaleo de pie durante la subida de una pendiente, estas pruebas también permitieron evaluar el comportamiento del motor y la autonomía de la batería, se logró realizar varios recorridos que sumaron 45 km de autonomía aproximadamente.

La primera prueba, ver figura 57, se realizó en terreno plano y poco empinado, donde se analizó la conducción sentado con y sin asistencia eléctrica. Se midió la autonomía de la batería y la estabilidad de la estructura mientras se pedaleaba a velocidad constante. Además, se evaluaron posibles deformaciones en el cuadro y bisagra debido a las vibraciones del terreno. Esta prueba permitió examinar la ergonomía y la eficiencia de la bicicleta en trayectos urbanos típicos.

Figura 57

Prueba pedaleando sentado con y sin asistencia eléctrica



En la segunda prueba, ver figura 58, se evaluó el inicio de pedaleo desde reposo. Se prestó especial atención a la torsión que se generaba en el cuadro de madera en este momento crítico, el comportamiento de la bisagra y la estabilidad del cuadro se pudo observar que la estructura

mantenía su integridad sin presentar deformaciones visibles o inestabilidad perceptible durante el arranque.

Figura 58

Prueba empezando a pedalear



Finalmente, en la tercera prueba, se midió el comportamiento de la bicicleta al pedalear de pie en una pendiente, ver figura 59. El objetivo fue observar cómo la estructura de madera soportaba la carga adicional al subir y cómo el motor respondía bajo estrés. La estructura de madera mostró un buen comportamiento, soportando la transferencia de peso sin presentar signos de flexión o inestabilidad significativos. El sistema eléctrico también respondió satisfactoriamente, proporcionando la asistencia necesaria para superar la pendiente sin dificultad.

Figura 59

Prueba subiendo una pendiente

**7. Trabajos futuros**

Para trabajos futuros se recomienda implementar materiales más ligeros y usar un método de construcción que no dependa tanto de la tornillería ya que esto aumenta en gran medida el peso de la bicicleta, se recomienda buscar una manera que tanto la estructura trasera y delantera sean de una pieza solida de madera, se puede utilizar laminas MDF y adhesivos usando de base una plantilla para darle la forma y curvas necesarias a la madera.

8. Conclusiones

En el presente trabajo, se logró desarrollar el diseño estructural de una bicicleta eléctrica plegable, cumpliendo con los requerimientos establecidos por la Resolución 160 de 2017 del Ministerio de Transporte para bicicletas de pedaleo asistido. El diseño incluyó un motor auxiliar cuya potencia nominal continua no supera los 0,35 kW y una velocidad máxima de asistencia de 25 km/h, asegurando el cumplimiento de la norma. Además, el peso de la bicicleta no superó los 35 kg, pesando 19 kg, garantizando que la bicicleta sea legal, segura y adecuada para su uso en entornos urbanos.

La estructura se modeló y validó mediante simulaciones por elementos finitos (FEA) en SolidWorks. Estas simulaciones confirmaron que la madera, es capaz de soportar las cargas y esfuerzos propios del uso urbano. Los análisis realizados verificaron que el diseño es seguro y resistente, asegurando un rendimiento óptimo en condiciones de uso real, sin comprometer la estabilidad, obteniendo como resultados en el caso más crítico que fue al empezar el pedaleo un esfuerzo máximo de 324.440 MPa, deformación máxima de 1.344 mm y factor de seguridad mínimo de 1.7.

El diseño que se planteó cuenta con el factor innovador, ya que es un tipo de seguro que no se ve en las bicicletas comerciales, además de esto es una muy buena alternativa ya que es fácil de usar y de mantener. La carga trabaja bien sobre el seguro de la bisagra, se garantiza que el elemento quede a tensión sin esfuerzos adicionales en otras direcciones.

Se construyó un prototipo funcional de la bicicleta eléctrica plegable en madera de moncoro, teniendo un peso de 19 kg, rines de 20 pulgadas, motor de 35 KW, batería de 36V, freno

de disco trasero y freno de llanta delantero, kit de cambios de 5 velocidades, velocidad máxima de pedaleo asistido de 25 km/h y sillín antiprostático, lo que permitió evaluar su desempeño en entornos urbanos. Las pruebas realizadas con el prototipo demostraron que la bicicleta, además de cumplir con los requerimientos técnicos, mostró un rendimiento eficiente para desplazarse por la ciudad de manera segura y cómoda.

Los resultados obtenidos según las simulaciones de los ensayos de la norma ISO 4210-6 sirven de guía para formar una idea de las zonas más críticas a las que prestar atención, pero para validar de forma definitiva según la norma se requieren realizar ensayos experimentales de fatiga.

El precio es competitivo en el mercado, ya que los modelos actuales son realmente costosos, donde los más económicos que se encuentran rondan los dos millones de pesos. Para el prototipo los costos no superaron los dos millones de pesos, y se espera que para la producción del producto final los costos se puedan optimizar.

Referencias Bibliográficas

- Alcaldía de Bogotá. (2017). *resolución 160 de 2017 Ministerio de Transporte*. Gov.co.
<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=68085>
- Alcaldía de Bogotá. (2021). *Cultura de la bicicleta en Bogotá*.
https://culturaciudadana.gov.co/sites/default/files/202110/Resultados%20encuesta%20Cultura%20en%20Bici_DF.pdf
- Corredor, J. F. G., Gaviria, S. P., & Forero, J. N. R. (2021). [203005] *Desarrollo de plataforma para el mejoramiento de la postura de ciclistas*. Edu.co.
<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/54019/700.pdf?sequence=1>
- Daniel, & Sanferbike. (2024). *¿Cuántos tipos de bicicletas existen? Encuentra una bici para cada disciplina de ciclismo*. Sanferbike. <https://www.sanferbike.com/videostv/tipos-de-bicicletas/>
- Daniel, P. (2023). *La increíble historia de las bicicletas eléctricas*. Sanferbike. Sanferbike.com, de <https://www.sanferbike.com/videostv/historia-de-la-bicicleta-electrica/>
- Dreyfuss, H. (2011). *-The Measure of Man and woman-. Revised edition: Human factors in Desing.* Design data.
<http://design.data.free.fr/RUCHE/documents/Ergonomie%20Henry%20DREYFUS.pdf>.
- Ogden Bolton. (1895). *US552271A - Electrical bicycle*. Google Patents. <https://patents.google.com/patent/US552271A/en>
- Gobierno de Colombia. (2022) *Estrategia nacional de transporte sostenible*, Ministerio de transporte,

<https://www.mintransporte.gov.co/loader.php?lServicio=Tools2&lTipo=descargas&lFuncion=descargar&idFile=29787>

González Lázaro, J. (2013). *Diseño y análisis de la estructura de una bicicleta plegable*. Universitat Politècnica de Catalunya.

Hormaetxe, R (2019). *Diseño y análisis de un cuadro de bicicleta mediante el método de los elementos finitos*

International Human Powered Vehicle Association. (1997). *Human power: The technical journal of the IHPVA*. International Human Powered Vehicle Association.

Naciones unidas. (2020) *Datos y cifras*. Naciones Unidas, de <https://www.un.org/es/actnow/factsand-figures>

Schofield, J. (2018). *Electric bikes timeline: Past, present and future*. Cyclestore.co.uk. <https://blog.cyclestore.co.uk/electric-bikes-timeline-past-present-and-future/>

Soden, P et al. (1986) *The Journal of Strain Analysis for Engineering Design: Loads, stresses, and deflections in bicycle frames*

Too, Danny & Landwer, Gerald E. (2003). *Factors affecting performance in human powered vehicles: a biomechanical model*. *Human Power Technical Journal of the IHPVA*. Number 54 Spring 2003, 14-16.

Úcar, J, Ballesteros, T I. en. (2016). *Diseño de una bicicleta tipo MTB plegable*. Unavarra.es. https://academicae.unavarra.es/xmlui/bitstream/handle/2454/22212/Ucar%20Hernandez_Jesus.pdf?sequence=1&isAllowed=y

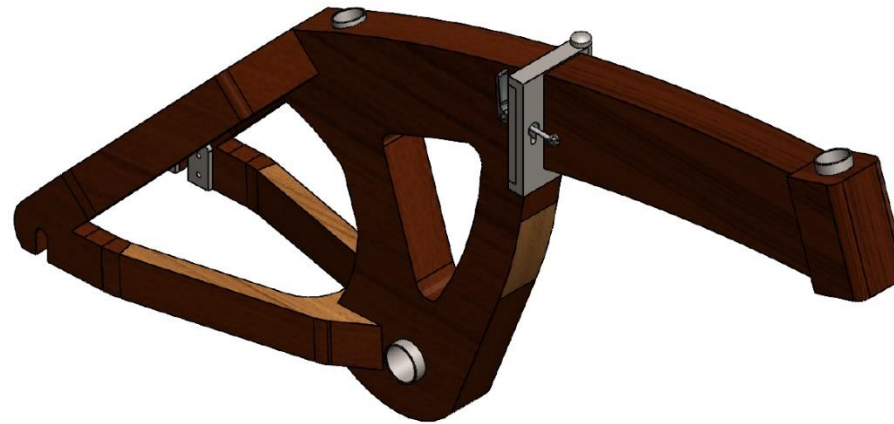
Valencia-Escobar, A., Zuleta, A., Areiza, Y. y Correa, E. (2018) *Diseño de bicicletas plegables en madera: una posibilidad real para el uso sostenible de un material renovable*. RChD: creación y pensamiento, 3(5), 1-11.

WeRbikes, P. (s/f). *La Historia de la Bicicleta*. WeRbikes Tienda de Bicicletas.
<https://www.verbikes.mx/blogs/verbikes-blog/la-historia-de-la-bicicleta/>

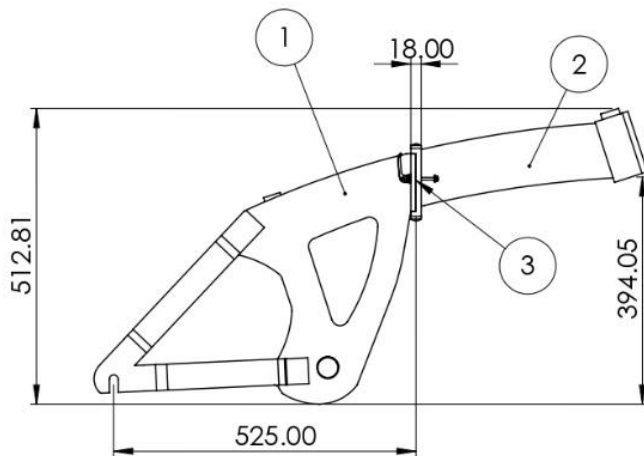
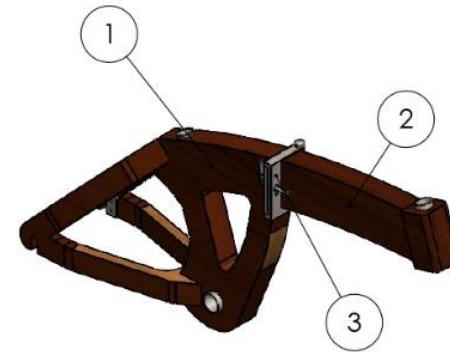
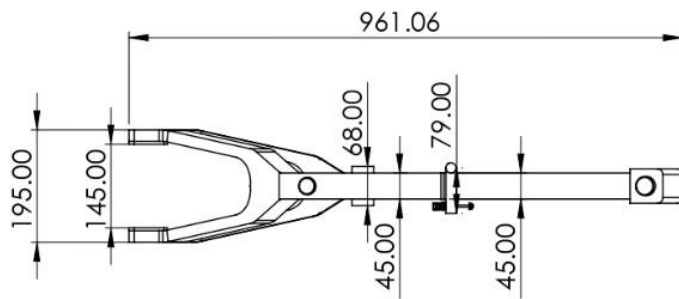
World Health Organization. (2020) *Calidad del aire ambiente (exterior) y salud*. Who.int.
[https://www.who.int/es/newsroom/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/newsroom/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

Apendices

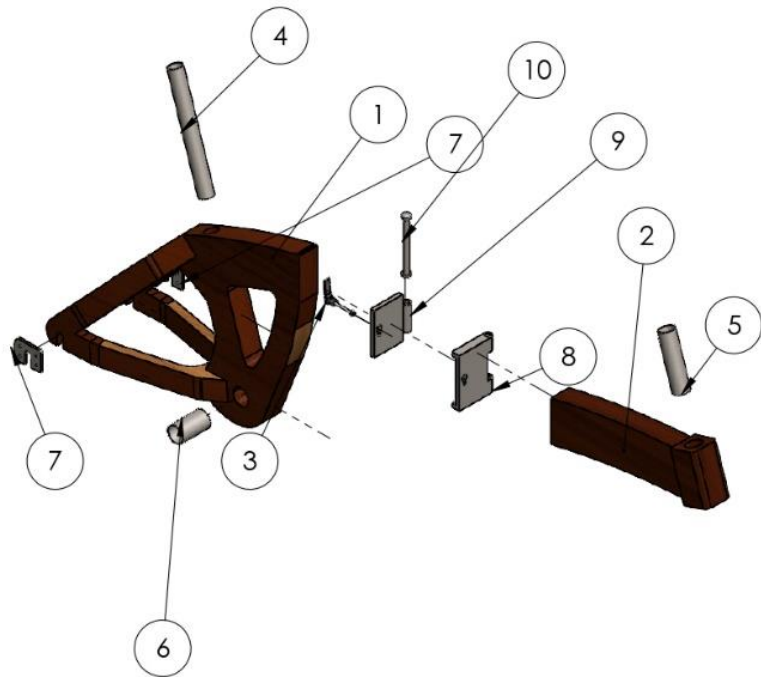
Apéndice A. Planos



 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: 05/09/24		TITULO: ESTRUCTURA DE BICICLETA ELECTRICA PLEGABLE VISTA ISOMETRICA	
ESCALA: 1:4		AUTOR: NICOLAS GORDILLO-LUIS RIAÑO	
UNIDADES: MM		REVISIA: JORGE LUIS CHACON-RICARDO JAIMES	
A4		HOJA 1/1	



1	ESTRUCTURA TRASERA	1	MADERA DE MONCORO
2	ESTRUCTURA DELANTERA	1	MADERA DE MONCORO
3	BISAGRA	1	ACERO 4130
CÓDIGO PIEZA	NOMBRE DE LA PIEZA	CANT.	MATERIAL
 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: 05/09/24		TITULO: ESTRUCTURA DE BICICLETA ELECTRICA PLEGABLE CONJUNTO DE SISTEMAS DE LA BICICLETA	
ESCALA: 1:10		AUTOR: NICOLAS GORDILLO-LUIS RIAÑO	
UNIDADES: MM		REVISOR: JORGE LUIS CHACON-RICARDO JAIMES	
A4		HOJA 1/1	



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	ESTRUCTUR TRASERA	1
2	ESTRUCTURA DELATERA	1
3	ABRAZADERA DE LEVA	1
4	TUBO SILLIN	1
5	TUBO DIRECCIÓN	1
6	TUBO PEDALIER	1
7	PLACA EJE TRASERO	2
8	BASE DE LA BISAGRA	1
9	BISAGRA	1
10	PASADOR	1



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FECHA: 05/09/24

TITULO: ESTRUCTURA DE BICICLETA ELECTRICA PLEGABLE
VISTA EXPLOSIONADA

ESCALA: 1:10

UNIDADES: MM

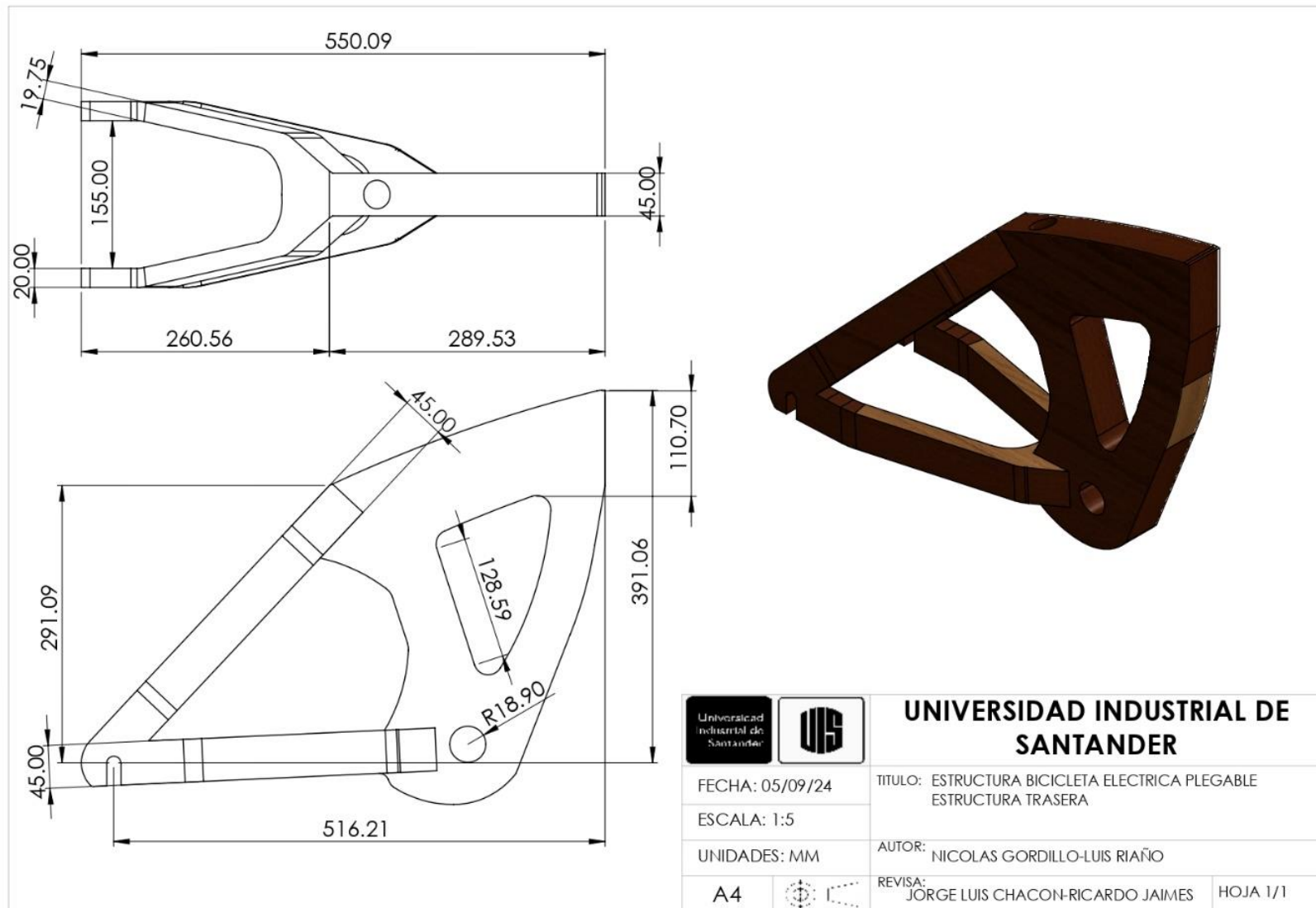
AUTOR: NICOLAS GORDILLO-LUIS RIAÑO

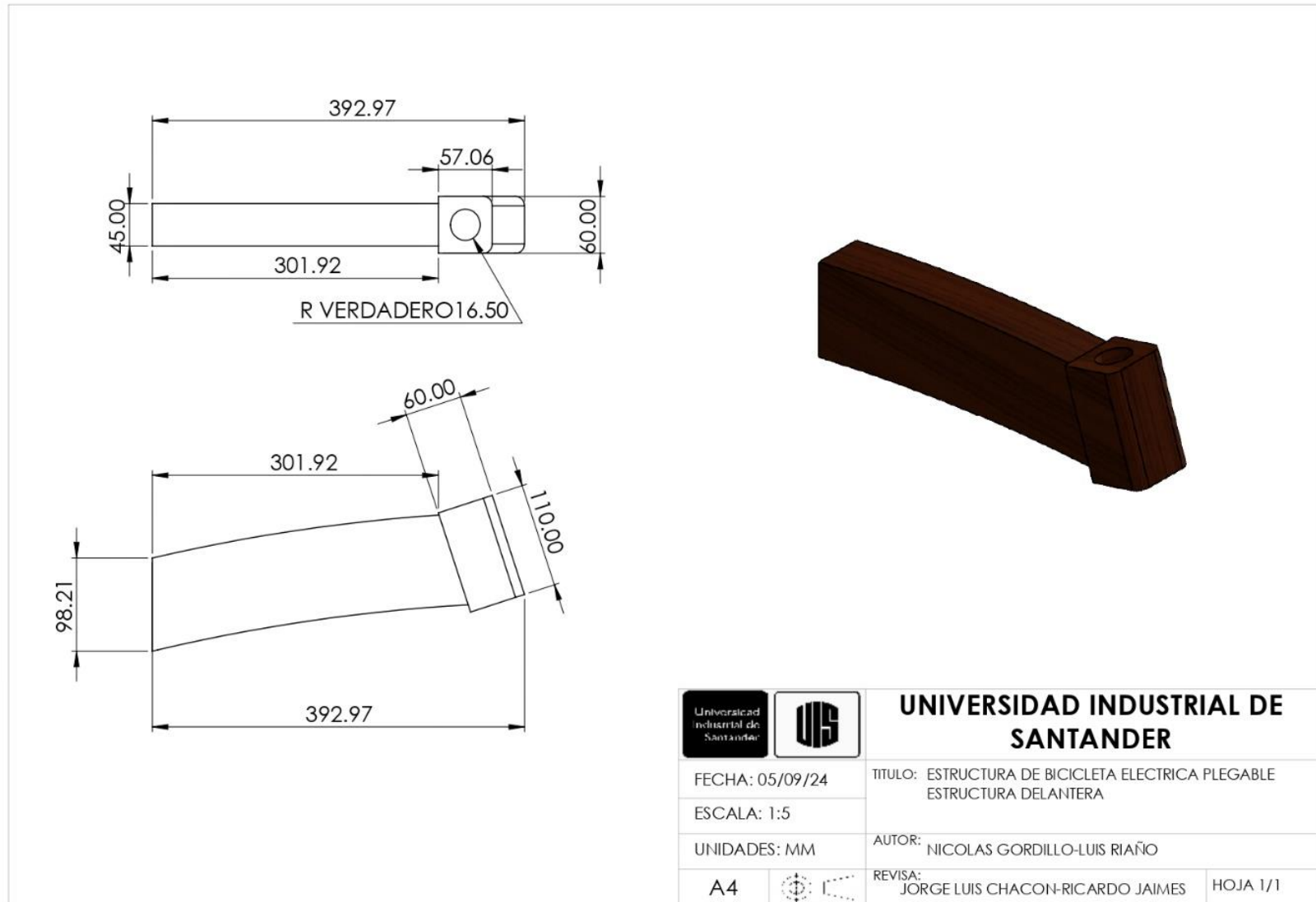
A4






REVISÁ: JORGE LUIS CHACON-RICARDO JAIMES

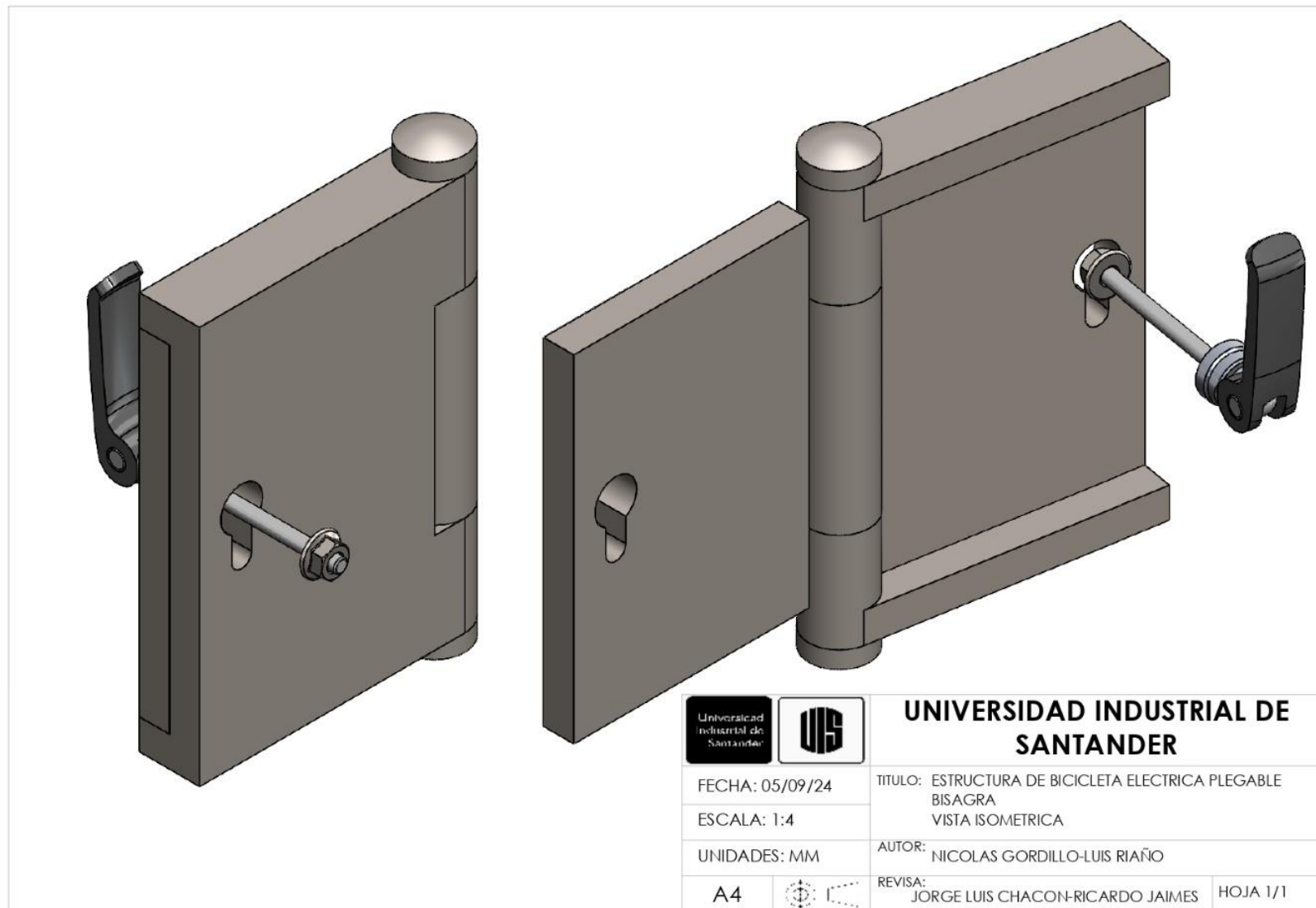
HOJA 1/1

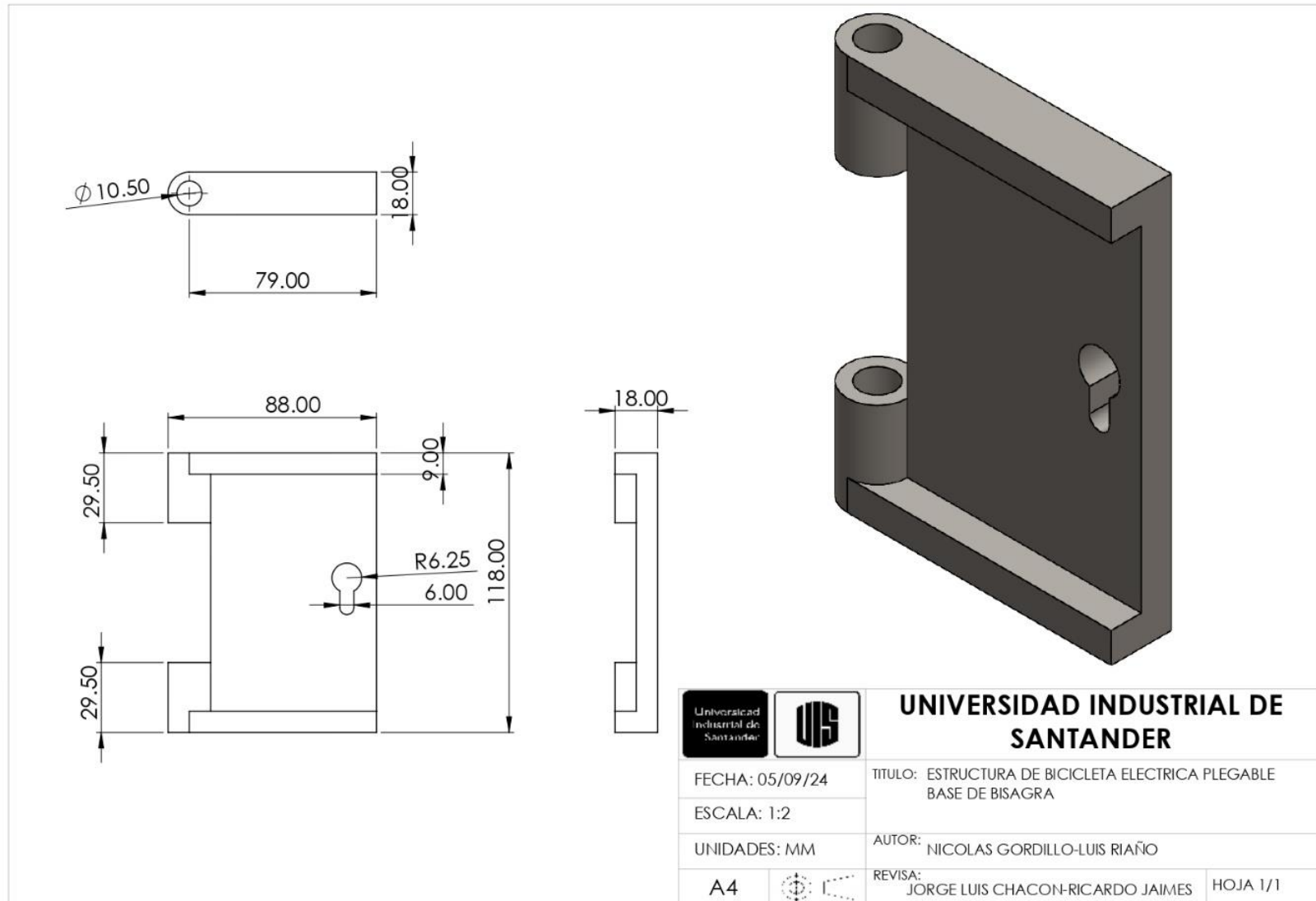


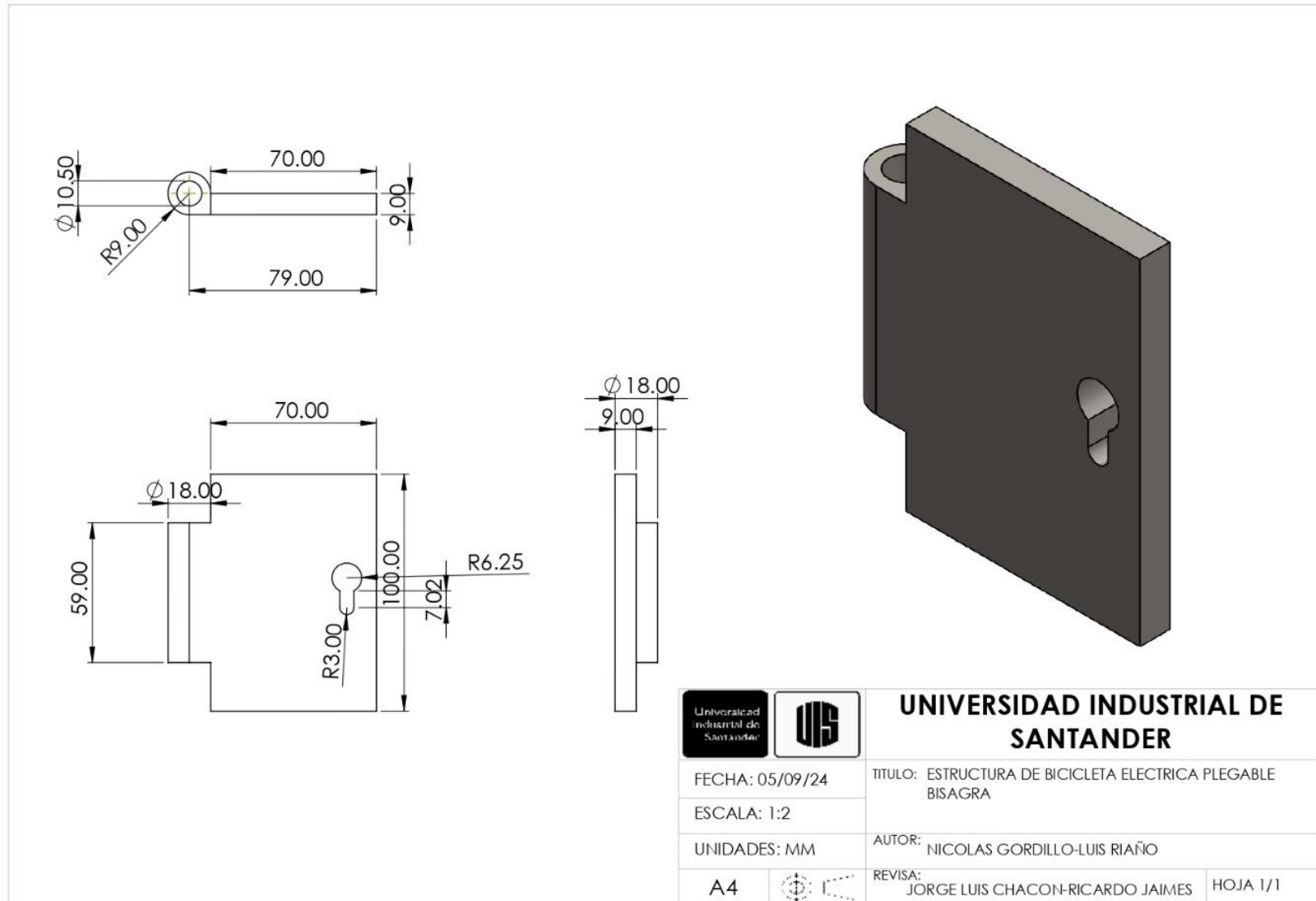


N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	BASE DE BISAGRA	1
2	BISAGRA	1
3	PASADOR	1
4	PALANCA DE LEVA	1

 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: 05/09/24		TITULO: ESTRUCTURA DE BICICLETA ELECTRICA PLEGABLE	
ESCALA: 1:2.5		COJUNTO BISAGRA	
UNIDADES: MM		VISTA EXPLOSIONADA	
A4		AUTOR: NICOLAS GORDILLO-LUIS RIAÑO	
		REVISÁ: JÓRGE LUIS CHACON-RICARDO JAIMES	HOJA 1/1

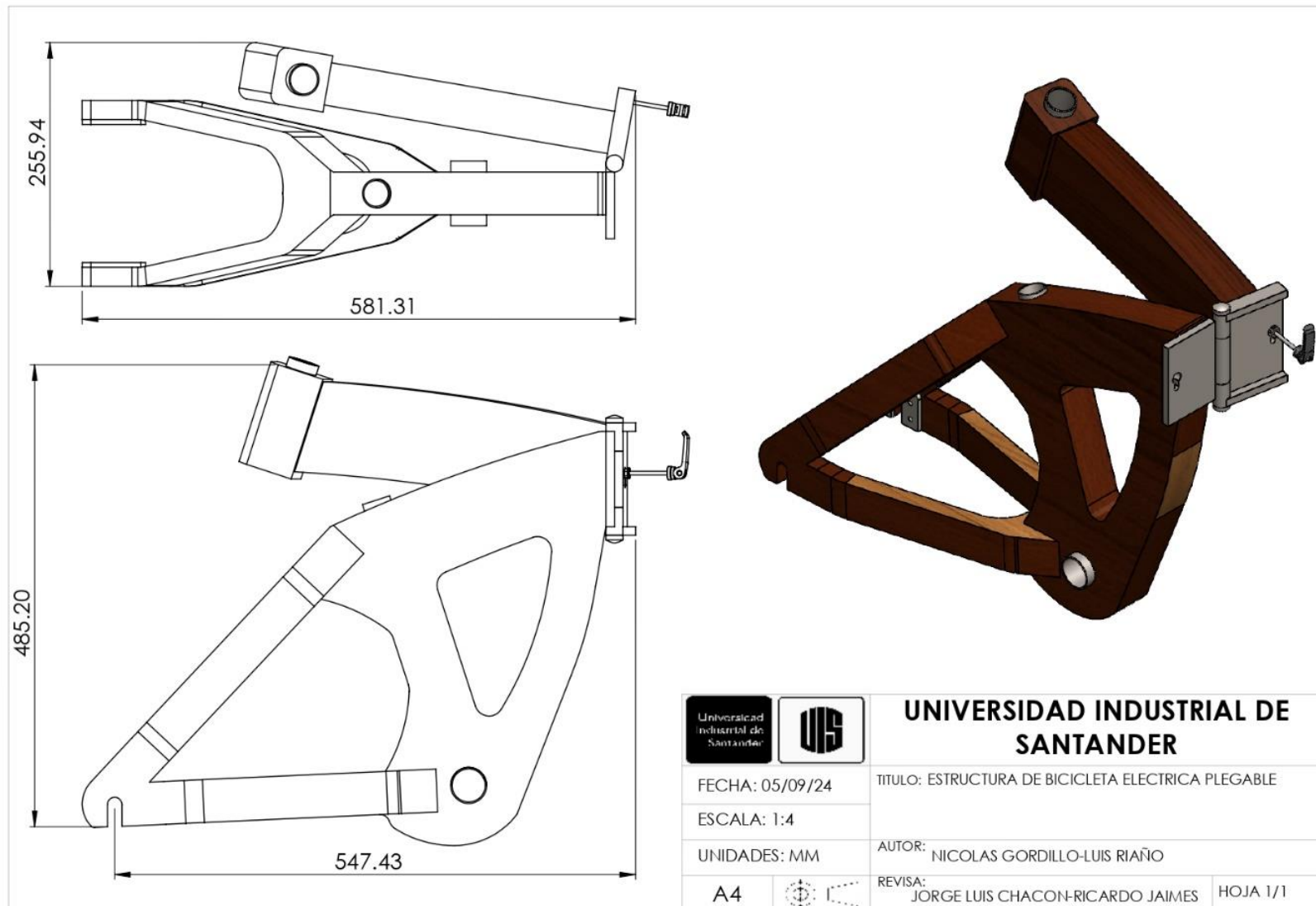








		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: 05/09/24		TITULO: ESTRUCTURA DE BICICLETA ELECTRICA PLEGABLE VISTA ISOMETRICA	
ESCALA: 1:4		AUTOR: NICOLAS GORDILLO-LUIS RIAÑO	
UNIDADES: MM		REVIS: JORGE LUIS CHACON-RICARDO JAIMES	
A4		HOJA 1/1	



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.