

**DISEÑO, CONSTRUCCION Y PRUEBAS DE UNA BICICLETA ELECTRICA
PLEGABLE.**

Autores:

**JOHAN ANDRES VILLARREAL TOCORA
RAUL SANCHEZ BAUTISTA**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
FLORIDABLANCA
2015.**

**DISEÑO, CONSTRUCCION Y PRUEBAS DE UNA BICICLETA ELECTRICA
PLEGABLE.**

Autores:

**JOHAN ANDRES VILLARREAL TOCORA
RAUL SANCHEZ BAUTISTA**

Aspirantes al título de ingeniero mecánico.

Proyecto de grado.

**Director, Profesor
Msc. Emil Hernández Arroyo**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
FLORIDABLANCA
2015.**

Nota de Aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Floridablanca, 09 abril de 2015.

DEDICATORIA

A Dios, por enseñarme el camino de la verdad, proporcionarme la fe y la sabiduría que me impulsa a trabajar incansablemente para lograr mis sueños.

A mis padres Luis y Caroline, por ser esos seres maravillosos que siempre me han dado Amor, por su inmenso sacrificio y esfuerzo para proporcionarme las mejores y más importantes herramientas de mi vida como lo son la integridad y el respeto.

A mi hermano Luis, por ser el mejor amigo que he tenido en mi vida, "I'm a Gunner - COYG".

JOHAN ANDRES VILLARREAL TOCORA.

DEDICATORIA

A Dios, porque gracias él estamos por culminar esta meta.

A mis padres, ya que gracias a su sacrificio y apoyo incondicional me alentaron a seguir adelante y no doblegarme ante cualquier circunstancia

A mis hermanas, que estuvieron en los momentos que más las necesite

A mi esposa e hija, ya que han sido mi motor incondicional para seguir adelante con este sueño

A todos mis amigos y compañeros que me ayudaron a que esta etapa fuese más llevadera

RAUL SANCHEZ BAUTISTA.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer especialmente al Ingeniero Emil Hernández Arroyo por ser nuestro guía en el desarrollo de este proyecto; también, agradecer al excelente grupo de Ingenieros docentes que desarrollan tan maravillosa tarea de formar profesionalmente y encaminar los sueños de muchas personas.

CONTENIDO.

INTRODUCCION	14
1. OBJETIVOS	15
1.1. OBJETIVO GENERAL.	15
1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.	15
2. MARCO TEORICO.	17
2.1. ESTADO DEL ARTE A NIVEL INTERNACIONAL.	17
2.1.1. GOCYCLE G2.	17
2.1.2. ONDA MINI.	18
2.1.3. DBO EZ.	21
2.1.4. I PEDELEC BMW.	22
2.2. ESTADO DEL ARTE A NIVEL NACIONAL.	23
2.2.1. FUNDAMENTOS DEL PROYECTO PILOTO ENDESA.	26
2.2.1.1. Diversificación de la utilización de combustibles.	26
2.2.1.2. Eficiencia energética.	26
2.2.1.3. Ambientales.	26
2.2.1.4. Salud pública.	26
2.2.1.5. Innovación y desarrollo empresarial.	27
2.2.2. APORTES DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN COLOMBIA.	27
2.2.3. RESPUESTA A LA POTENCIAL DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA.	27
2.2.4. APOYO DEL ESTADO COLOMBIANO.	28
2.2.5. PROYECTO ENDESA – E-BIKE TO WORK.	29
3. METODOLOGIA.	31
3.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.	32
3.2. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA PRINCIPAL.	32
3.3. EVALUACIÓN DEL DISEÑO BAJO MÉTODOS DE ENSAYO ESTÁTICOS Y DE FATIGA.	33
3.4. CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA PRINCIPAL.	34
3.5. SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES MECÁNICOS Y EL KIT ELÉCTRICO.	34
3.5.1. MECÁNICOS.	35
3.5.2. ELÉCTRICOS (KIT ELÉCTRICO).	35
3.6. MONTAJE DE LOS COMPONENTES MECÁNICOS Y DEL KIT ELÉCTRICO.	36

3.7. PRUEBAS DE RENDIMIENTO DE LA BICICLETA ELÉCTRICA PLEGABLE.	36
4. MATERIALES, RESULTADOS DE LA CARACTERIZACION DEL PROTOTIPO Y PRUEBAS.	37
4.1. MATERIALES.	38
4.1.1. CONSIDERACIONES DEL MATERIAL DE LA ESTRUCTURA.	38
4.1.1.1. Aleación de aluminio 6061 y 7005.	38
4.1.1.2. Tabla comparativa de materiales.	39
4.2. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACION DEL DISEÑO PRELIMINAR Y EL PROTOTIPO FINAL.	39
4.2.1. CARACTERIZACIÓN DEL DISEÑO PRELIMINAR.	40
4.2.2. CARACTERIZACIÓN DEL PROTOTIPO FINAL.	44
4.2.2.1. Partes mecánicas.	48
4.2.2.2. Partes eléctricas.	50
4.3. PRUEBAS.	55
4.3.1. ENSAYOS DE COMPROBACIÓN DEL DISEÑO PRELIMINAR.	55
4.3.1.1. Ensayo estático con fuerzas verticales.	56
4.3.1.2. Ensayo de fatiga con una fuerza vertical.	60
4.3.1.3. Ensayo de fatiga con fuerzas de pedaleo.	71
4.3.2. PRUEBAS DE DESEMPEÑO DEL PROTOTIPO FINAL.	86
5. CONCLUSIONES	92
6. RECOMENDACIONES	94
7. BIBLIOGRAFIA	95
ANEXO	97

LISTA DE FIGURAS.

	pág.
Figura 1: Bicicleta Eléctrica Plegable GoCycle G2.	17
Figura 2: Bicicleta Eléctrica Plegable Onda Mini.	20
Figura 3: Bicicleta Eléctrica Plegable Onda Mini – Plegada.	20
Figura 4: Bicicleta Eléctrica Plegable DB0 EZ.	21
Figura 5: Bicicleta Eléctrica Plegable DB0 EZ – Plegable.	22
Figura 6: Bicicleta Eléctrica Plegable iPedelec BMW.	22
Figura 7: Ventajas del uso de la bicicleta.	24
Figura 8: Ventajas del uso de la bicicleta.	24
Figura 9: Porcentajes del parque automotor de Bogotá.	25
Figura 10: Historial de incremento del parque automotor.	25
Figura 11: Bicicleta del Proyecto e-bike to Work.	30
Figura 12: Componentes mecánicos.	35
Figura 13: Kit eléctrico.	35
Figura 14: Boceto final producido en solidworks.	37
Figura 15: Diseño preliminar generado por Solidworks.	40
Figura 16: Estructura principal de la bicicleta.	41
Figura 17: Partes de la estructura principal de la bicicleta.	41
Figura 18: Sistema de plegado del manillar.	42
Figura 19: Plegado de manillar.	43
Figura 20: Sistema de plegado de la estructura principal.	44
Figura 21: Prototipo final.	44
Figura 22: Prototipo final – Dimensiones.	46
Figura 23: Condición desplegada.	47
Figura 24: Condición de plegado – Reducción de su altura.	47
Figura 25: Condición desplegada.	47
Figura 26: Condición plegada – Reducción del largo.	47
Figura 27: Reducción del ancho.	48
Figura 28: transmisión por cadena.	49
Figura 29: Cambios Shimano TZ.	49
Figura 30: Sistema de plegado del manillar.	50
Figura 31: Sistema de plegado de la estructura principal.	50
Figura 32: Kit Eléctrico.	51
Figura 33: Batería de litio.	51
Figura 34: Cargador de la batería.	52
Figura 35: Motor eléctrico ubicado en la llanta delantera.	53
Figura 36: Controlador del sistema eléctrico.	54

Figura 37: Sensor de pedaleo.	54
Figura 38: Manetas del freno.	55
Figura 39: DCL del ensayo estático con fuerzas verticales.	56
Figura 40: Diagrama de Fuerzas Cortantes.	58
Figura 41: Diagrama de Momentos Flectores.	58
Figura 42: Sección Transversal de la Estructura.	59
Figura 43: DCL de Ensayo de Fatiga con una Fuerza Vertical.	62
Figura 44: Diagrama de Fuerzas Cortantes.	63
Figura 45: Diagrama de Momentos Flectores.	64
Figura 46: sección Transversal de la Estructura.	64
Figura 47: Diagrama de Esfuerzo Alternante	65
Figura 48: Grafica de Soderberg.	68
Figura 49: Diagrama de Wohler.	70
Figura 50: DCL para Ensayo de Fatiga con Fuerzas de pedaleo – Plano XY	72
Figura 51: DCL para Ensayo de Fatiga con Fuerzas de Pedaleo – Plano XZ	72
Figura 52: DCL para Ensayo de Fatiga con Fuerzas de Pedaleo - Plano YZ	73
Figura 53: Diagrama de Fuerzas Cortantes – Plano XY.	75
Figura 54: Diagrama de Momentos Flectores – Plano XY	75
Figura 55: Diagrama de Fuerzas Cortantes – Plano XZ.	76
Figura 56: Diagrama de Momentos Flectores – Plano XZ	77
Figura 57: Diagrama de Momentos Torsores – Plano YZ.	77
Figura 58: sección Transversal de la Estructura.	79
Figura 59: Diagrama de Esfuerzos Alternantes - σ_{fy}	80
Figura 60: Diagrama de Esfuerzos Alternantes – σ_{fz}	81
Figura 61: Diagrama de Esfuerzos Alternantes – σ_t	82
Figura 62: Mapa del Recorrido 1.	87
Figura 63: Curva Elevación vs Velocidad – Recorrido 1.	87
Figura 64: Mapa de Recorrido 2.	88
Figura 65: Curva Elevación vs Velocidad – Recorrido 2.	88
Figura 66: Mapa de Recorrido 3.	89
Figura 67: Curva Elevación vs Velocidad – Recorrido 3.	89

LISTA DE TABLAS.

	pág.
Tabla 1: Tabla Comparativa de Materiales.	39
Tabla 2: Distancias de la bicicleta.	57
Tabla 3: Distancias de la Sección Transversal.	59
Tabla 4: Distancias para el Ensayo de Fatiga con Una Carga Vertical.	62
Tabla 5: Ángulos Para el Ensayo de Fatiga con una Carga Vertical.	63
Tabla 6: Distancias de la sección Transversal.	65
Tabla 7: Distancias de la Estructura para el Ensayo.	73
Tabla 8: Ángulos en la Estructura para el Ensayo.	74
Tabla 9: Distancias de la sección Transversal.	79

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE UNA BICICLETA ELÉCTRICA PLEGABLE.

AUTOR(ES): JOHAN ANDRES VILLARREAL TOCORA –
RAUL SANCHEZ BAUTISTA

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Mecánica

DIRECTOR(A): EMIL HERNANDEZ ARROYO

RESUMEN

El proyecto surge como una iniciativa de ingeniería para analizar el diseño de una bicicleta plegable para posteriormente caracterizarlo y construirlo, buscando de esta manera aportar un medio físico de transporte que sea óptimo para la circulación vial de la ciudad. En este trabajo se presentan las actividades desarrolladas para obtener el diseño y los ensayos de la bicicleta eléctrica plegable. A este diseño se le adaptaron dos sistemas fundamentales; el primero, bisagras en la estructura principal y en el manillar delantero que permiten plegarse y reducir su tamaño con el propósito de adaptarse a distintos espacios; además, cuenta con un sistema eléctrico que asiste al usuario en recorridos de larga distancia por medio del motor eléctrico accionado de manera manual o bajo el régimen del pedaleo haciendo que se adapta a distintas situaciones urbanas y a la vez permite optimizar la relación esfuerzo - recorrido. La fabricación del producto está centrada en el uso de componentes estándar para reducir los costos y así crear un producto de calidad, accesible y al alcance de la mayor cantidad de potenciales usuarios.

PALABRAS CLAVES:

Adaptación de dos sistemas fundamentales

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: DESIGN, CONSTRUCTION AND TESTING OF PERFORMANCE OF ELECTRIC FOLDING BICYCLE.

AUTHOR(S): JOHAN ANDRES VILLARREAL TOCORA.
RAUL SANCHEZ BAUTISTA

FACULTY: Facultad de Ingeniería Mecánica

DIRECTOR: EMIL HERNANDEZ ARROYO

ABSTRACT

The project is an initiative of engineering to analyze the design of a folding bike to further characterize and build, thereby seeking to provide a physical means of transportation that is optimal for road traffic of the city. In this work the activities developed for the design and testing of the folding electric bike are presented. This design was adapted two fundamental systems; the first, hinged to the main frame and the front handlebar allowing downsize and folded in order to adapt to different areas; also has an electrical system that assists the user in long-distance by means of electric motor driven manually or under a pedaling by adapting to different urban situations and simultaneously optimizes the effort ratio - travel. Product manufacturing is centered on the use of standard components to reduce costs and create a quality, accessible and affordable to as many potential users.

KEYWORDS:

Adapted two fundamental systems

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

INTRODUCCION

En el contexto mundial se vive un auge en la investigación de la movilidad eléctrica. Cada día toma más importancia el desarrollo de estas tecnologías debido a la necesidad de un sistema que emplee energías sustentables sin prescindir de las libertades a las que nos han acostumbrados los sistemas de movilidad actual.

En este proyecto se describe de manera conceptual el proceso de investigación, diseño y ensamble del prototipo de una bicicleta eléctrica plegable, las soluciones encontradas a los problemas asociados durante las diferentes etapas del prototipo y por último se presenta el análisis de los resultados obtenidos tanto de los cálculos estructurales como las pruebas de rendimiento al prototipo.

El prototipo final obtenido; objeto del desarrollo de este proyecto, se encuentra acondicionado con un kit eléctrico generador motriz que favorece la asistencia del pedaleo al usuario, logrando un pedaleo de confort al usuario.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL.

El objeto del proyecto es diseñar y construir un sistema de transporte individual alternativo, con características innovadoras y un atractivo diseño; una aplicación práctica con componente social, de respeto al medio ambiente, promoción a un estilo de vida saludable en la población urbana y especialmente para comenzar a dar solución a los problemas de movilidad.

1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- Diseñar la estructura de la bicicleta plegable en el software de simulación Solidworks. Resultado: Diseño preliminar de la estructura de la bicicleta plegable para ensayos de esfuerzos. Indicador: Diseñar la estructura bajo condiciones ergonómicas del usuario, tipo de plegado, dimensiones, aspectos particulares de innovación.
- Evaluar el diseño preliminar de la estructura de la bicicleta plegable según la Norma Española UNE-EN 147641, con componentes estáticas y de fatiga. Resultados: cálculos de los factores de seguridad correspondientes a las pruebas estáticas y de fatiga sobre la estructura; aprobación del diseño. Indicador: Se realiza siguiendo los requisitos de dicha norma.
- Construir la estructura principal de la bicicleta plegable según el diseño final. Resultado: Estructura física del prototipo diseñado. Indicador: Construcción del marco principal basado en el diseño realizado en el software SolidWorks.

- Ensamblar los componentes mecánicos y el kit eléctrico en la estructura. Resultado: Bicicleta eléctrica plegable como producto final. Indicador: instalar los componentes motrices eléctricos y mecánicos en la estructura principal.
- Evaluar el desempeño de la bicicleta eléctrica plegable y compararlo con el de una motocicleta. Resultado: Tablas que reflejan el consumo energético por recorrido y la comparación de los dos medios de transporte. Indicador: Establecer las condiciones de los recorridos y las cargas a movilizar.

2. MARCO TEORICO.

2.1. ESTADO DEL ARTE A NIVEL INTERNACIONAL.

En la actualidad en el mundo se ha desarrollado diversidad de prototipos referentes a bicicletas eléctricas plegables; que se pueden identificar desde diferentes puntos de vista, como: precios, marcas, tamaños, autonomía, etc; pero su principio fundamental que es movilizar al usuario no se extingue, algunos proyectos son:

2.1.1. Gocycle G2.

Si se utiliza la bicicleta para viajar a cualquier sitio, ya fuese trayecto de placer o para ir a trabajar, se podría considerar ecológicamente responsable, y si además se pudiese evitar llegar sudados a causa del esfuerzo o sucios de grasa debido a una inoportuna avería o pinchazo. [2]

Figura 1: Bicicleta Eléctrica Plegable GoCycle G2.



Fuente: Gocycle

En esto se basó Richard Thorpe, ex ingeniero de McLaren de Fórmula 1 cuando dejó su empleo y se dedicó a diseñar GOCYCLE, esta cautivadora bicicleta eléctrica plegable que combina potencia, potabilidad y estilo, pensada para satisfacer a los ciclistas urbanos de la ciudad moderna [ver figura 1]. [2]

Incorpora un motor eléctrico de 250W que permite alcanzar los 25 km/h con una autonomía de 64 kilómetros, gracias a su batería de litio de 10.75 Ah, recargable totalmente en 5 horas y media, y monta una transmisión patentada por cadena, la Cleandrive Shimano Nexus de 3 velocidades, totalmente cerrada y libre de mantenimiento. Dispone de acelerador de desplazamiento y asistencia al pedaleo; además, sus ruedas son intercambiables de una forma rápida y cómoda. [2]

Gracias a su monitor integrado, se puede visualizar información útil sobre la velocidad, la selección de la marcha escogida y el estado de carga de la batería.[2]

Todos los cables están escondidos dentro del cuadro, lo que proporciona un diseño limpio y libre de mantenimiento. [2]

2.1.2. Onda Mini.

OndaBike es una sección de Ondamil, empresa con 20 años de experiencia, especializada en bicicletas eléctricas, motos y coches eléctricos, que cuenta con la excelencia, la investigación, el desarrollo, la innovación, la fabricación, la calidad y los servicios, sus objetivos de política empresarial básicos. Han producido una serie de vehículos respetuosos con el medio ambiente, dedicados al ocio, cómodos, que facilitan la práctica del deporte y los desplazamientos a nivel personal, de forma segura, fiable y económica, como lo son sus bicicletas eléctricas. [3]

Las características del modelo probado son las siguientes:

- Cuadro: Aluminio plegable.
- Llantas: 20"
- Peso: 17 Kg aprox.
- Motor eléctrico: 24V 250W.
- Sistema: 5 niveles de asistencia.
- Batería: Litio 24V 9.5AH con capacidad para 1.000 recargas.
- Tiempo de carga: 3 horas (80%), 5 horas (100%).
- Autonomía: 35-60 Km dependiendo del nivel de asistencia escogido.
- Velocidad: 25 Km/h (PAS). [3]

La bicicleta eléctrica plegable de OndaBike [ver figura 2] ha parecido una bicicleta equilibrada, robusta, confortable y una buena solución para el transporte urbano y para pequeñas distancias interurbanas (alrededor de los 25 kilómetros entre ida y vuelta), un trayecto que está acostumbrado a hacer con una bicicleta plegable de 3 velocidades y que ha permitido comparar la ventaja que supone disponer de esa ayuda extra que proporciona su motor eléctrico [ver figura 2]. [3]

Ha gustado especialmente lo suave que funciona el cambio Shimano de 8 velocidades, dando un amplio rango haciendo innecesario el funcionamiento del motor eléctrico en muchos casos, pero como lo que se requiere es notar la potencia del motor, se puso a prueba en algunas pendientes. [3]

Figura 2: Bicicleta Eléctrica Plegable Onda Mini.



Fuente: Ondamini.

El método de plegado es realmente sencillo ya que básicamente consta de dos puntos de actuación, que son el doblado del manillar y el doblado de la estructura de la bicicleta (también se puede rebajar la altura del manillar y del sillín). [Ver figura 3] [3]

Figura 3: Bicicleta Eléctrica Plegable Onda Mini – Plegada.



Fuente: Ondamini

2.1.3. Dbo Ez.

El cuadro de esta bicicleta esta hecho de una aleación de aluminio que garantiza una gran dureza y longevidad. Destaca además por su moderno diseño y su genial sistema para plegarla [ver figura 4].

Figura 4: Bicicleta Eléctrica Plegable DB0 EZ.



Fuente: Mundobikes.

La empresa americana Robrady Design ha creado una práctica bicicleta eléctrica plegable de diseño particular denominada DBO EZ Pro.

Está compuesto de dos partes. Solo es necesario apretar un botón ubicado debajo del sillín para doblarla en dos. Cuenta con un motor sin escobillas de 250W y 24V, alimentado por una batería de litio-ion de 6Ah, que se puede extraer fácilmente para agilizar el proceso de carga [ver figura 5].

La batería es un cilindro que se encuentra en el centro de la bicicleta, como si de un depósito de agua se tratase; se extrae con llave y se carga como si fuera un teléfono móvil. Otra llave se utiliza en el novedoso sistema de bloqueo incorporado en la rueda trasera.

Figura 5: Bicicleta Eléctrica Plegable DB0 EZ – Plegable.



Fuente: Mundobikes.

2.1.4. I Pedelec BMW.

La principal ventaja de estas bicicletas eléctricas es que están especialmente diseñadas para ser transportados de forma discreta en el propio BMW i3 y que además, se puedan recargar desde el mismo maletero, gracias a su sistema de anclaje y recarga. El objetivo de BMW con este tándem es claro, poder dejar aparcado el automóvil y poder completar el resto del recorrido del usuario con la bicicleta. [5]

Figura 6: Bicicleta Eléctrica Plegable iPedelec BMW.



Fuente: Electricbike.

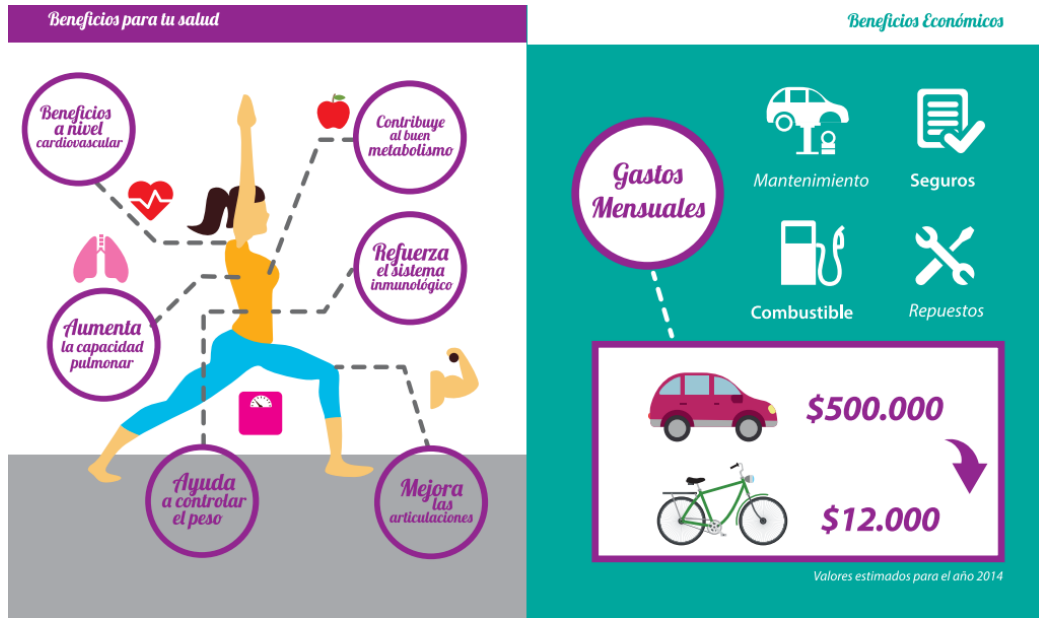
La i Pedelec está equipada con un motor eléctrico trasero de 250W/20Nm y con una batería de Litio de 42V que cuenta con una autonomía de entre 25 a 40 Km dependiendo del nivel de asistencia requerido en cada tramo. La velocidad alcanzada es de 25 Km/h y el tiempo de recarga será de entre hora y media para la carga rápida y 4 horas para su recarga total [ver figura 6]. [5]

El peso de la bicicleta es de 20 kg gracias al uso del aluminio y de la fibra de carbono para su estructura y componentes, consiguiendo un reparto del peso del 50:50. [5]

2.2. ESTADO DEL ARTE A NIVEL NACIONAL.

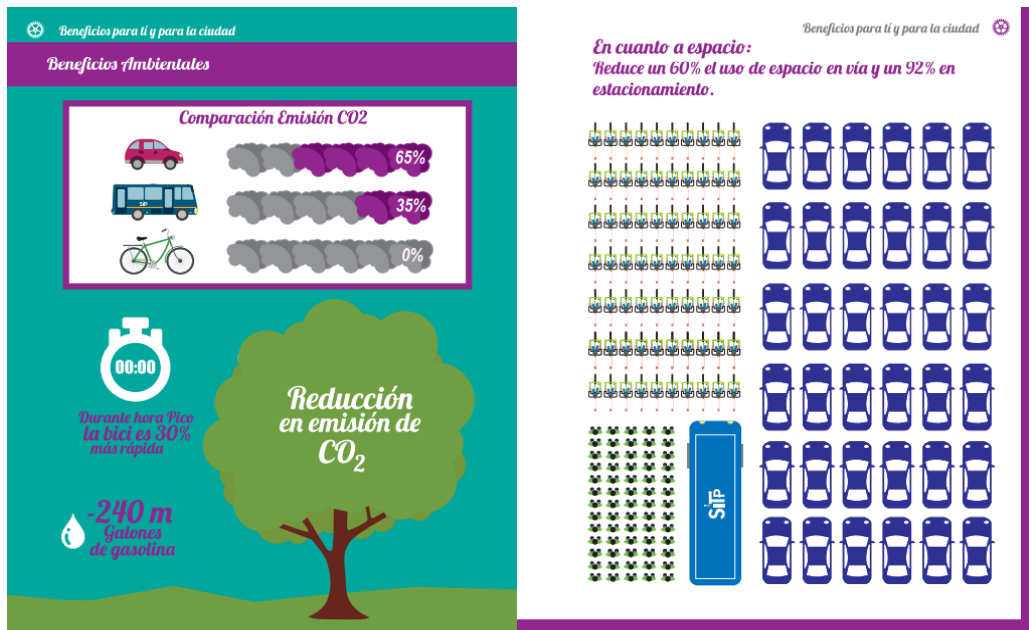
Actualmente la movilidad en las ciudades principales de Colombia es un poco compleja, los estudios generados por empresas privadas con el fin de mejorar este aspecto por medio del uso de medios de transporte sostenibles, entre ellos la bicicleta eléctrica plegable; han demostrado poder mejorar no solo indicadores de movilidad si no otros ítems como la emisión de gases, la calidad de vida en las ciudades, la salud y la economía de los usuarios, entre otras cosas [Ver figuras 7 - 8].

Figura 7: Ventajas del uso de la bicicleta.



Fuente: Manual de bici – Secretaria movilidad Bogotá.

Figura 8: Ventajas del uso de la bicicleta.



Fuente: Manual de bici – Secretaria de movilidad Bogotá.

El antecedente más significativo e importante en Colombia lo determina la empresa líder en movilidad eléctrica Endesa (asocio de Codensa y Emgesa) la cual instauró un programa piloto.

Programa que fue desarrollado en la ciudad de Bogotá debido a los altos índices de contaminación y el aumento porcentual considerable del parque automotor, información recopilada por la entidad que fundamenta la investigación del proyecto [ver figuras 9 -10]. [6]

Figura 9: Porcentajes del parque automotor de Bogotá.



Fuente: Secretaria de movilidad Bogotá.

Figura 10: Historial de incremento del parque automotor.



Fuente: Secretaria de movilidad Bogotá.

2.2.1. Fundamentos del proyecto piloto Endesa.

2.2.1.1. Diversificación de la utilización de combustibles.

El sector del transporte urbano en Colombia representa el 39% de la demanda de energía primaria y se soporta en los combustibles fósiles en un 82%, un 17% en gas natural y biodiesel, y la energía eléctrica en el 0,2% según el estudio de soporte del PROURE (Programa de Uso Racional y Eficiencia Energética). [6]

2.2.1.2. Eficiencia energética.

En Bogotá, entre 30-35% de los costos de operación del transporte colectivo y masivo se asocian a los combustibles y sus efectos se transfieren al usuario. Un motor eléctrico puede ser hasta 6 veces más eficiente energéticamente que un motor a combustión. [6]

2.2.1.3. Ambientales.

En Colombia, el sector transporte es responsable del 13% de las emisiones de CO₂ y de una gran parte del material particulado. En Bogotá aporta el 80% de las emisiones de CO, CO₂ y Nox. [6]

2.2.1.4. Salud pública.

El transporte emite cerca de 1.400 ton MP (56% transporte público). Según Ministerio de Medio Ambiente, las pérdidas anuales por contaminación local representan el 0,8% del PIB nacional y origina la muerte de 6.000 personas al año por problemas respiratorios, principalmente niños y ancianos. [6]

2.2.1.5. Innovación y desarrollo empresarial.

La inclusión de nuevas tecnologías permitirá el desarrollo de nuevos mercados en Colombia en las industrias de recarga de vehículos eléctricos, segundo uso y reciclaje de baterías, aprovechamiento de energías renovables, desarrollo de tecnologías de Smart – grid, ensamblaje de vehículos eléctricos, entre otros. [6]

2.2.2. Aportes de la energía eléctrica en Colombia.

Como medida a todo, la energía eléctrica en Colombia ofrece:

- Oportunidad de reducir el consumo energético asociado al sector transporte.
- Cero Emisiones Urbanas.
- Garantizar la autosuficiencia energética en el largo plazo.
- Aprovechamiento de fuentes renovables (hidráulicas, geotermia, eólica, biomasa) en un sector hoy dependiente de combustibles fósiles.
- Reducción de las emisiones equivalente CO₂ del sector transporte.
- Aprovechamiento de la infraestructura eléctrica robusta y confiable.
- Precios regulados de la E.E. y posibilidad de contratos cortó plazo. [6]

2.2.3. Respuesta a la potencial demanda de energía eléctrica.

Como respuesta a la potencial demanda de energía eléctrica por el uso masivo de esta tecnología, la compañía Endesa complemento la investigación con datos que demuestran que el país es capaz de respaldar y asegurar el suministro de energía, asegurando así con datos estadísticos. [6]

- Confiabilidad histórica del STN : 99.99%

- Confiabilidad abastecimiento eléctrico hasta el 2018. Se adjudicaron proyectos por:
 - ✓ 3.000 MW Hidráulicos (Sogamoso: 2013, Cucuana: 2013, Miel II: 2014, El Quimbo: 2014, Porce IV: Suspendido, Ituango: 2018)
 - ✓ 450 MW Térmicos (Termocol: 2012, Gecelca 3; 2013).

- Potencial en capacidad hidro-energética de Colombia:
 - ✓ 93 GW para centrales hidroeléctricas.
 - ✓ 25 GW para centrales menores. [6]

Hoy, sólo el 13% del potencial de generación hidroeléctrica del país es aprovechado. Adicionalmente, existe la posibilidad de aprovechamiento de potencial energético de tipo eólico, geotérmico y biomasa. [6]

2.2.4. Apoyo del estado colombiano.

Como apoyo por parte del gobierno Colombiano, se implementaron diferentes normas para incentivar la incorporación de este tipo de tecnología en el mercado colombiano.

- PROURE. Resolución 180919 de 2010.
- Resolución 186 de 2012 – Ministerio de Ambiente y Ministerio de Minas y energía & Resolución 0563 de 2012 UPME. Inclusión del transporte público eléctrico en las metas ambientales y reglamentación trámite de exclusión de IVA para vehículos eléctricos de transporte público.
- Adopción del NAMA transporte eléctrico para Bogotá por el Ministerio de Ambiente.

- Definición cupos para importación de BEV con arancel 0%. Se proyecta aprobación para 2013-2017.
- Inclusión de tecnologías eléctricas en el transporte público dentro del Plan de Desarrollo Distrital 2012-2015.
- Reforma Tributaria Ley 1607 de 2012. Asignación IVA 5% para vehículos eléctricos. [7]

2.2.5. Proyecto endesa – e-Bike to Work.

Como respuesta a toda esta información el Director General de Endesa Colombia afirma que, *“El Programa de Movilidad Cero Emisiones es un frente de trabajo muy importante para la Organización, no sólo porque apunta a los objetivos estratégicos sino porque contribuye de manera activa a mejorar la calidad de vida de los que vivimos en la ciudad y de nuestro empleados, además de que es una excelente oportunidad para poder contribuir a construir una ciudad más sostenible”*. [8]

Dentro de este programa se encuentra un subprograma llamado E-Bike to Work que sencillamente contempla una flota de 48 bicicletas eléctricas determinadas para trabajadores de la compañía que quieran hacer uso de ellas en sus desplazamientos al trabajo, subprograma que sirvió como punto de partida para la investigación del comportamiento de este tipo de transporte en la ciudad de Bogotá [ver figura 11].

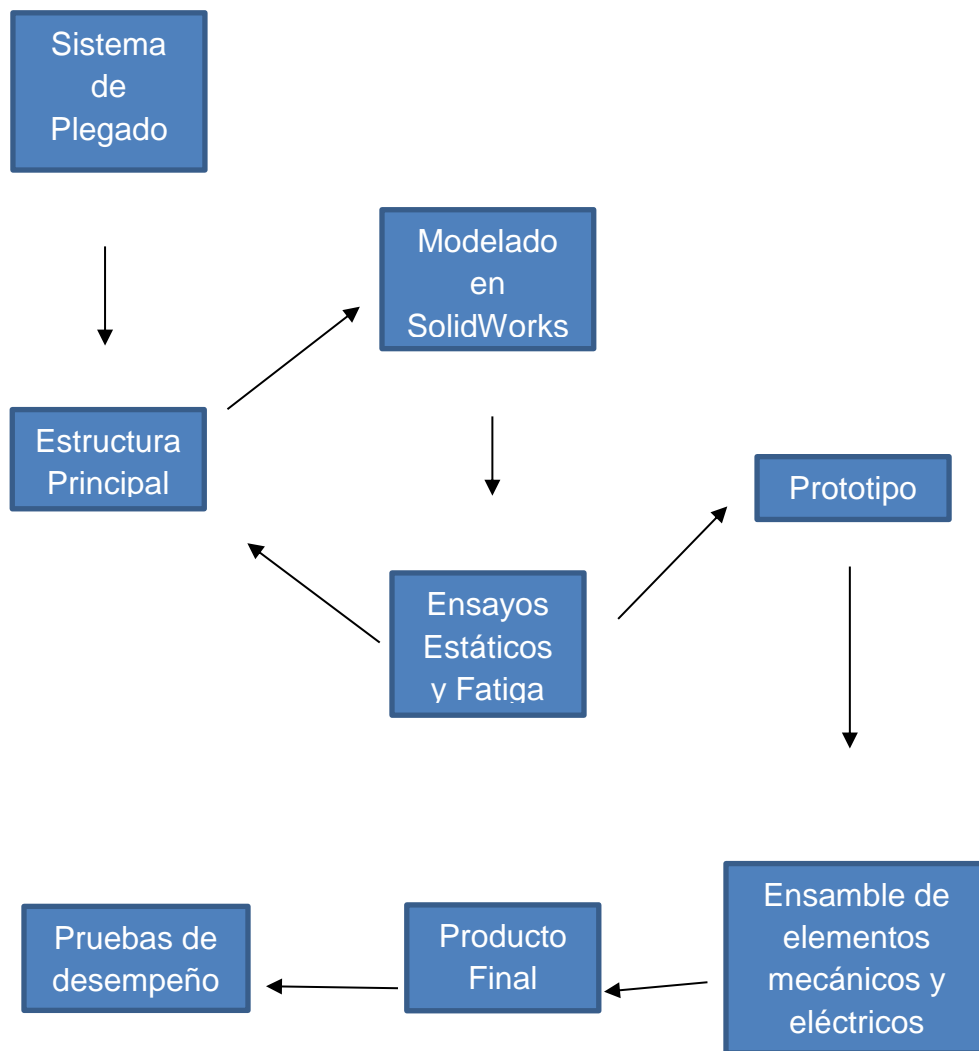
Figura 11: Bicicleta del Proyecto e-bike to Work.



Fuente: Endesa.

3. METODOLOGIA.

La metodología del proyecto se basa en seguir la secuencia de fases establecidas a continuación:



Fuente: Autores.

3.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.

En esta fase se realizará la investigación y documentación correspondiente al estado del arte de las bicicletas eléctricas plegables, aspectos fundamentales en el diseño de bicicletas, procesos de fabricación, materiales y también se plantea buscar información específica sobre los componentes del sistemas como lo son tanto mecánicos como eléctricos, siendo el punto de partida para ir definiendo cuáles serán los finalmente elegidos.

3.2. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA PRINCIPAL.

En esta fase se ejecutará el diseño preliminar de la estructura principal en el software de simulación solidworks, teniendo en cuenta los parámetros iniciales de diseño.

En el diseño partiendo desde cero de cualquier producto, es muy importante conocer cuáles serán las características que se desean cumplir al final del proceso. Estas características son premisas autoimpuestas que marcan el desarrollo de todo el trabajo.

Se podrían diferenciar entre requerimientos técnicos y estéticos, siendo los técnicos impuestos para cubrir específicamente las necesidades, y los estéticos, impuestos con mayor influencia por el impacto visual a generar en el usuario.

En lo que se refiere a aspectos técnicos que debe cumplir la bicicleta, se estipulan los siguientes:

- Dimensiones aproximadas de la estructura. Largo (1.4 – 1.6m), ancho (0.35 - 0.45m), alto (0.9 - 1m).
- Proceso de plegado rápido y fácil para el usuario, limitando el tiempo a 14”.
- Ligereza; punto muy importante ya que permitirá al usuario manejar y transportar la bicicleta con mayor facilidad, la limitación es de 13 kg.
- Compactibilidad; lograr un diseño que sea altamente compacto en la posición de plegado; reducción del 40% de volumen ocupado.
- Capacidad de desplazamiento; relación entre las dimensiones de la rueda y el grado de compactibilidad, se decide diseñar una bicicleta de ruedas de 16 a 20” (equilibrio de ambos).

En cuanto a aspectos estéticos:

- Sencillez estructural; se pretende obtener un diseño limpio y sencillo a la vez que elegante y clásico en cuanto a formas, sin olvidar la resistencia mecánica necesaria.
- Calidad; equipar el producto con materiales de calidad aumentando las prestaciones.

3.3. EVALUACIÓN DEL DISEÑO BAJO MÉTODOS DE ENSAYO ESTÁTICOS Y DE FATIGA.

En este punto del proyecto se efectúa una serie de ensayos de forma analítica que menciona la Norma Española UNE-EN 14764¹ Bicicletas de paseo, en su capítulo 4.8-Cuadros, para aprobar la fabricación de estructuras seguras; ya una vez

obtenido el diseño preliminar, este se someterá a cada uno de los ensayos mencionados a continuación:

- ✓ Ensayo Estático con Fuerzas Verticales (peso de la persona).
- ✓ Ensayo de Fatiga con una Fuerza Vertical.
- ✓ Ensayo de Fatiga con Fuerzas de Pedaleo.

Una vez realizados los cálculos, ellos indicaran si el diseño realizado pasa los criterios de la norma y es aprobado para proceder a construirlo.

3.4. CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA PRINCIPAL.

Una vez aprobada la estructura principal, esta etapa se enfoca en la construcción de la estructura de la bicicleta plegable en base a los planos arrojados por el software SolidWorks, una vez definido el material y el proceso de fabricación, se obtendrá el prototipo físico final de la bicicleta plegable.

3.5. SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES MECÁNICOS Y EL KIT ELÉCTRICO.

Esta etapa se centra en identificar los elementos finales con los que contara la bicicleta eléctrica plegable, estos componentes están agrupados en mecánicos y eléctricos [ver figuras 8-9]:

3.5.1. Mecánicos.

Figura 12: Componentes mecánicos.



Fuente: Mundobikes.

- ✓ Sistema de transmisión de potencia (cadena, sistema de cambios, platos, pedales, eje).
- ✓ Sistema de frenos (frenos, guayas, manetas).
- ✓ Ruedas (llantas, rines).
- ✓ Sillín.

3.5.2. Eléctricos (kit eléctrico).

Figura 13: Kit eléctrico.



Fuente: Electricbikes.

- ✓ Motor.
- ✓ Batería.
- ✓ Controlador.
- ✓ Sensor de pedaleo.
- ✓ Cableado.
- ✓ Indicador led del nivel de la batería.

La selección de todos los componentes está basada en las funciones del producto, calidad del producto y el precio que al final es el de mayor impacto.

3.6. MONTAJE DE LOS COMPONENTES MECÁNICOS Y DEL KIT ELÉCTRICO.

En esta etapa se hace el ensamble de todos los componentes de la bicicleta eléctrica plegable, al fin se obtiene el producto final.

3.7. PRUEBAS DE RENDIMIENTO DE LA BICICLETA ELÉCTRICA PLEGABLE.

La idea plasmada en esta etapa es hacer pruebas a la bicicleta para observar el rendimiento, costo referente al consumo energético de índole mensual y la mantenibilidad de la bicicleta para finalmente compararlo con los mismos de una motocicleta, con el fin de sacar conclusiones de costos – beneficios.

4. MATERIALES, RESULTADOS DE LA CARACTERIZACION DEL PROTOTIPO Y PRUEBAS.

Figura 14: Boceto final producido en SolidWorks.



Fuente: Autores.

4.1. MATERIALES.

4.1.1. Consideraciones del material de la estructura.

Un aspecto importante es la selección de los materiales. Para lograr un producto de calidad que entre a competir en el mercado es conveniente observar cuales son las tendencias del mismo. Todo esto, en concordancia con el tipo de producto que se desea y el perfil de usuario ya descrito.

Los materiales principales que se tienen en cuenta para la fabricación de la estructura de la bicicleta son dos clases de aleaciones de aluminio ampliamente extendidas en la fabricación de bicicletas, una serie 6000 y otra serie 7000 según la designación de la "Aluminum Association".

4.1.1.1. Aleación de aluminio 6061 y 7005.

La aleación 6061 está compuesta principalmente por Aluminio (Al), Magnesio (Mg) y Silicio (Si) mientras que la aleación 7005 lo está por Aluminio (Al) y Zinc (Zn). A ambas se les aplica un tratamiento térmico T6 que según la norma UNE EN 38002 se basa en la solución, temple y maduración artificial de la aleación ligera que le proporciona una mejora en las propiedades mecánicas.

Son materiales con una gran predisposición a ser moldeados mediante una gran variedad de procesos de fabricación, con una densidad baja y propiedades mecánicas medias. Todo esto hace que sean un recurso a tener en cuenta en muchas aplicaciones.

Las diferencias entre ambas aleaciones son mínimas, destacando que en el caso de la 6061 opone menor resistencia a ser trabajada y que la 7005 tiene unos

valores de resistencia mecánica ligeramente superiores y un mejor comportamiento a fatiga.

4.1.1.2. Tabla comparativa de materiales.

A continuación se muestra mediante una tabla un resumen de todas las características de los materiales explicados anteriormente y que son de potencial para utilizar en el diseño de la estructura de la bicicleta plegable [ver tabla 1].

Tabla 1: Tabla Comparativa de Materiales.

Tabla Comparativa de Materiales		
Material	EN AW - 6061	EN AW - 7005
Densidad [g/cm³]	2,78	2,78
Módulo de Young [GPa]	69	72
Límite Elástico [MPa]	270	290
Tensión de Rotura [MPa]	310	350
Tensión a Fatiga [MPa]	96,5	150
Resistencia a la Corrosión	Muy Buena	Muy Buena
Soldabilidad	Buena	Buena

Fuente: Autores.

4.2. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACION DEL DISEÑO PRELIMINAR Y EL PROTOTIPO FINAL.

En esta sección se identificara totalmente el prototipo final construido con el propósito de caracterizarlo y determinar si cumple con las condiciones iniciales de diseño, a su vez se observara el diseño preliminar generado por el software.

4.2.1. Caracterización del diseño preliminar.

Basado en toda la información recopilada y las condiciones preliminares de diseño previamente establecidas se realizó el diseño preliminar de la bicicleta plegable, por medio del programa de diseño y simulación solidworks [ver figura 15].

Las imágenes a continuación mostradas son las correspondientes al diseño preliminar; se puede identificar las partes que componen la estructura de la bicicleta y también los mecanismos de plegado.

Figura 15: Diseño preliminar generado por Solidworks.



Fuente: Autores – SolidWorks.

- **Estructura principal.**

La estructura principal soporta todas las partes restantes tanto mecánicas como eléctricas y además tiene la capacidad de doblarse en la mitad [ver figura 16]; esta estructura está compuesta por 3 partes esenciales, y son:

Figura 16: Estructura principal de la bicicleta.



a).



b).

Fuente: Autores – SolidWorks.

Figura 17: Partes de la estructura principal de la bicicleta.

Parte Trasera [c]



c).

Parte Delantera [d].



d).

Fuente: Autores – solidworks



e).

- **Sistemas de plegado.**

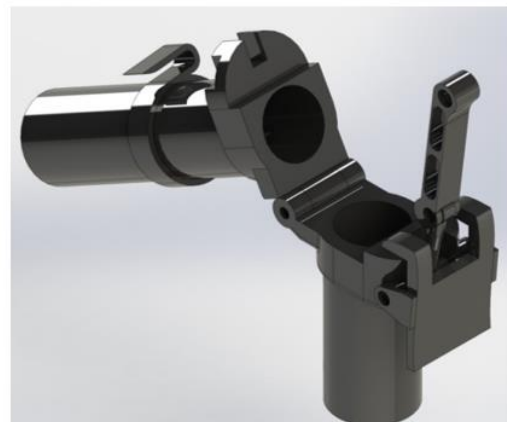
Sistemas de plegado, los cuales permiten hacer la reduccion de dimensiones de la bicicleta plegable; a continuacion se observaran los dos sistemas:

El primero, hace parte del manillar [ver figura 18], haciendo que se pliegue paralelamente a llanta delantera [ver figura 19].

Figura 18: Sistema de plegado del manillar.



a).



b).

Fuente: Autores – solidworks.

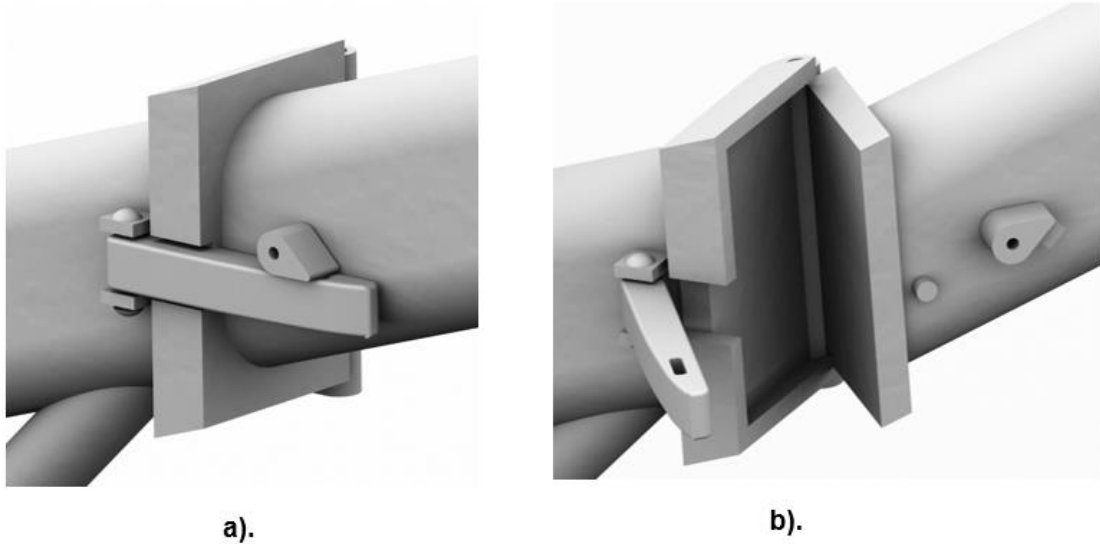
Figura 19: Plegado de manillar.



Fuente: Autores – solidworks.

El segundo [ver figura 20], hace parte de la estructura de la bicicleta plegable permitiendo que la estructura completa se doble por la mitad.

Figura 20: Sistema de plegado de la estructura principal.



Fuente: Autores – Solidworks.

El diseño preliminar entrega características que se ajustan a las iniciales, caracterizado por valores como:

- ✓ Dimensiones: largo (1m), ancho (0.14m) y alto (0.37m).
- ✓ Peso Aproximado: 5kg.

4.2.2. Caracterización del prototipo final.

A continuación se hace una caracterización completa del prototipo final obtenido [ver figura 21].

Figura 21: Prototipo final.



Fuente: Autores.

- **Dimensiones.**

En primer lugar, se tomó la decisión de que no existen tallas y qué por tanto, las dimensiones de la estructura son únicas. Así, la adaptación a la posición de cada usuario se realiza mediante los ajustes en las alturas del sillín y del manillar. Cabe decir que es una práctica habitual entre los productores existentes de bicicletas plegables y con lo cual no sería un hecho perjudicial.

En segundo lugar y como ya se ha comentado con anterioridad, se pretende que sea una bicicleta versátil en cuanto a capacidad de desplazamiento. Es decir, que se puedan cubrir desde desplazamientos cortos y cotidianos hasta trayectos de media distancia.

Para ello, se estipuló un tamaño de rueda de entre 16 y 20". Finalmente se define como dimensión de rueda 20" (32-451), que según la norma ISO 5775 tiene un diámetro de neumático de 500 mm, 451 mm el diámetro de la llanta y 32 mm el ancho [11].

Decidido esto, se realiza el dimensionamiento del prototipo final [ver figura 22].

Figura 22: Prototipo final – Dimensiones.



Fuente: Propia.

Dimensiones:

Largo: 1.5m

Ancho: 0.45m

Alto: 1.1m

- **Compactibilidad.**

Como se puede observar en las imágenes siguientes, el grado de compactibilidad alcanzado es suficientemente correcto. Al incluir el proceso completo de plegado de la bicicleta el descenso del tubo telescópico de la dirección y del asiento, dejándolos en la cota mínima posible, se consigue una reducción en altura del 41 %, pasando de 1100 a 650 milímetros [ver figura 23].

Figura 23: Condición desplegada.



Figura 24: Condición de plegado – Reducción de su altura.



Fuente: Autores.

La longitud total de la bicicleta, viéndose desde el plano frontal [ver figura 25], cuando se pasa de la posición desplegada a la plegada, se reduce un 50%, pasando de 1500 a 750 milímetros [ver figura 26].

Figura 25: Condición desplegada.



Figura 26: Condición plegada – Reducción del largo.



Fuente: Autores

En cuanto a la anchura del conjunto, no ve afectada en gran tamaño su valor ya que el ancho lo determinan el manillar, se modifica el valor pasando de 450 a 400 milímetros, con una reducción del 12% [ver figura 27].

Figura 27: Reducción del ancho.



Fuente: Autores.

Finalmente, en términos de volumen la reducción de espacio conseguida es de un 74%, pasando de 0,743 m³ a 0,195 m³.

El tiempo de plegado total de la bicicleta es aproximadamente de 12 segundos y el peso del conjunto total es aproximadamente 10,5kg.

4.2.2.1. Partes mecánicas.

La bicicleta eléctrica plegable en sus componentes mecánicos, incluirá de forma muy convencional los utilizados en las bicicletas comunes, como:

- Sistema de Transmisión de Potencia.

Una cadena es un elemento de transmisión de potencia formado por una serie de eslabones unidos con pernos. Este diseño permite tener flexibilidad, y permite además que la cadena transmita grandes fuerzas de tensión [ver figura 28].

Figura 28: transmisión por cadena.



Fuente: Autores.

- **Sistema de Cambios de marcha.**

La bicicleta solo cuenta con cambios en la parte trasera, debido a que cuenta el sistema de asistencia al pedaleo; cuentas con 6 configuraciones de marcha, apropiadas para las diferentes elevaciones de los recorridos [ver figura 29].

Figura 29: Cambios Shimano TZ



Fuente: Autores.

- **Sistemas de Plegado.**

La bicicleta al igual como el diseño preliminar cuenta con los dos tipos de sistemas de plegado; el primero, para plegar la estructura por la mitad [ver figuras 31] y el segundo, para plegar el manillar [ver figuras 30].

Figura 30: Sistema de plegado del manillar.



a).



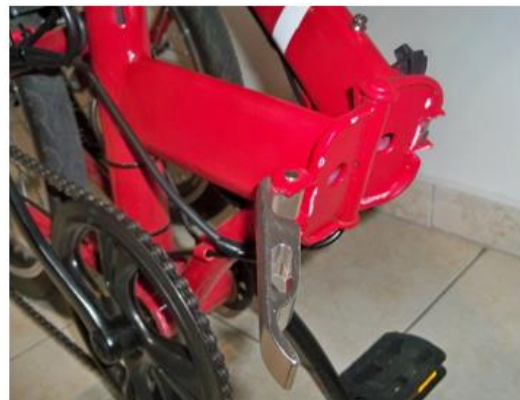
b).

Fuente: Autores.

Figura 31: Sistema de plegado de la estructura principal.



c).



d).

Fuente: Autores.

4.2.2.2. Partes eléctricas.

Figura 32: Kit Eléctrico.



Fuente: Electricbikes.

- **Batería.**

Última tecnología utilizada para mejorar rendimiento, duración de cargas, mayor almacenamiento por volumen y el efecto memoria que afecta la vida útil de las baterías [Ver figura 33].

- ✓ Batería Ion – Litio
- ✓ 36V – 10Ah
- ✓ Máxima carga aprox. 350W
- ✓ Las dimensiones aprox. de la batería son: (15–25cm x 5–15cm x 5–15cm)
- ✓ El peso aproximado es de 1.75 – 2.25kg.
- ✓ Eficiencia entre 80 – 90%
- ✓ Autonomía aproximada 25 – 30km.

Figura 33: Batería de litio.



Fuente: Autores.

- **Cargador.**

El cargador debe ser compatible con la carga que trabaja la batería y con cualquier acceso a corriente de un hogar, la duración en que carga va de 1 – 5 horas dependiendo del nivel de descarga de la batería, una vez cargada entra en un estado flotante para que la batería no sufra sobrecarga [Ver figura 34].

Figura 34: Cargador de la batería.



Fuente: Propio.

- **Motor.**

Motor eléctrico tipo hub brushless que trabaja con corriente directa, recibido por los impulsos del controlador; son motores que vienen diseñados para instalarse en cualquier buje de las llantas, además sus potencias máximas pueden ser mayores a su potencia nominal, por ejemplo en el momento del arranque puede llegar a duplicar la potencia siempre y cuando el controlador permita ese pico de señal.

Motor se instala en el buje de la llanta delantera con el fin de obtener doble tracción, en la parte trasera funciona la tracción generada por la persona como en una bicicleta convencional [Ver figura 35].

Figura 35: Motor eléctrico ubicado en la llanta delantera.



Fuente: Propio.

- ✓ Potencia Nominal 350W
- ✓ Voltaje 36V
- ✓ Peso aprox. 2.5kg
- ✓ Velocidad aproximada 23km/h
- ✓ Rendimiento mayor al 85%
- **Controlador.**

El controlador es el encargado de distribuir la potencia a través del sistema eléctrico, recibe dos señales, del acelerador y del sensor de movimiento, a su vez tiene una salida que es la del motor [ver figura 36].

Figura 36: Controlador del sistema eléctrico.



Fuente: Propio.

✓ Dimensiones aprox. (Largo 8cm, alto 5cm, ancho 4cm).

- **Sensor.**

El sensor de pedaleo asistido PAS es de tipo hall, funciona cuando un imán pasa por el sensor, detecta la señal y manda un impulso al controlador [ver figura 37].

Figura 37: Sensor de pedaleo.



Fuente: Propio.

✓ Trabaja con señales de 0 – 4

✓ Voltaje 5V.

- **Sistema de frenado.**

Son manetas de freno como las tradicionales en bicicletas, su función aparte de frenar es cortar la alimentación de corriente al motor; es decir, en el momento que se active el freno el motor deja de generar tracción, todo esto por medio del controlador [Ver figura 38].

Figura 38: Manetas del freno.



Fuente: Propio.

4.3. PRUEBAS.

4.3.1. Ensayos de comprobación del diseño preliminar.

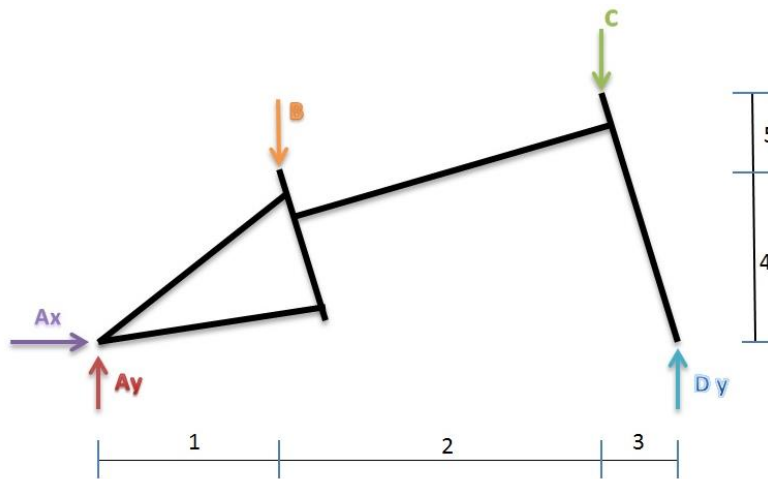
En esta sección del proyecto se llevan a cabo una serie de estudios de esfuerzos mecánicos que permiten comprobar la resistencia de la estructura diseñada. Se realizan un total de tres ensayos, siendo dos de ellos especificados por la normativa vigente UNE-EN 14764, con lo que en caso de superar todos ellos, se considerará que se cumple con la normativa.

4.3.1.1. Ensayo estático con fuerzas verticales.

Este estudio se realiza como punto de partida para conocer las características de resistencia de la estructura diseñada, las secciones con mayor sollicitación y los primeros dimensionamientos. Se somete a unas sollicitaciones estáticas causadas por el peso de un pasajero estándar de 80 kg sobredimensionado para alcanzar un peso total de 100 kg. De este peso, un 75% es cargado en la parte trasera y el resto en la delantera.

Por tal de lograr unos resultados lo más parecidos a los reales, se fija la estructura por el eje trasero con un apoyo fijo, que limite las traslaciones en las tres dimensiones pero que permita el giro. En el eje delantero se coloca una sujeción de rodillo que evite únicamente el desplazamiento vertical y por tanto permita la flexión del cuadro [Ver figura 39].

Figura 39: DCL del ensayo estático con fuerzas verticales.



Fuente: Autores.

Tabla 2: Distancias de la bicicleta.

Distancias	
Numero	Magnitud (m)
1	0,3
2	0,53
3	0,17
4	0,285
5	0,09

Fuente: Propio.

- Distribución de Cargas.

$$1000N = 0,75B + 0,25C$$

$$B = 750N ; C = 250N$$

- Sumatoria de Fuerzas en X

$$\sum Fx = Ax = 0$$

- Sumatoria de Fuerzas en Y

$$\sum Fy = Ay - B - C + Dy = 0$$

$$Ay = 1000N - Dy$$

- Sumatoria de Momentos en A

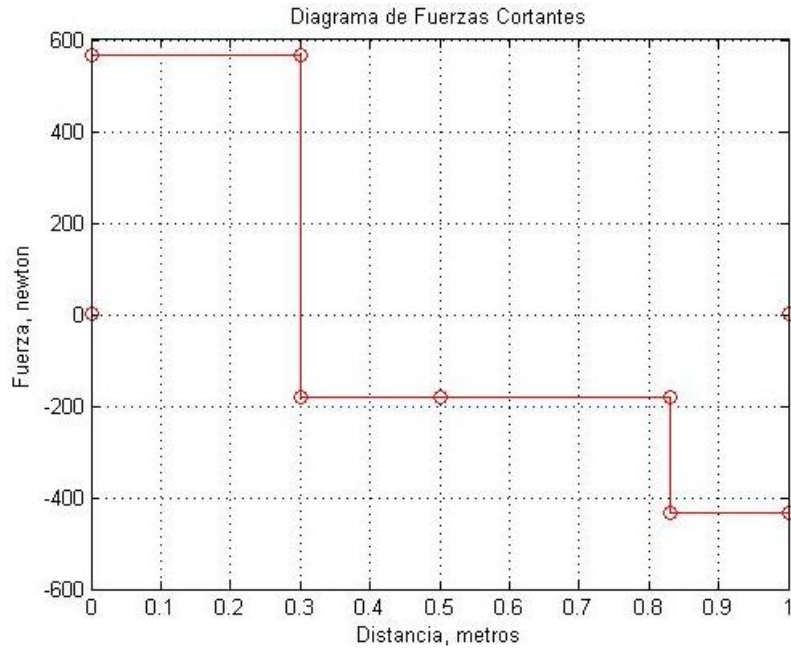
$$\sum MA = 1Dy - (0,3 * 750N) - (0,83 * 250N) = 0$$

$$Dy = 432N$$

$$Ay = 568N$$

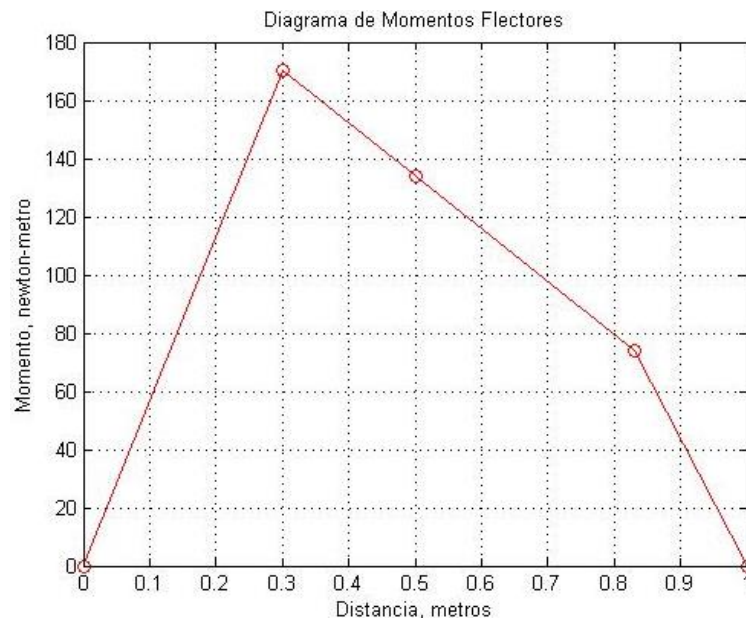
- Diagramas de Fuerzas Cortante y Momentos Flectores [ver figuras 40-41].

Figura 40: Diagrama de Fuerzas Cortantes.



Fuente: Autores – Matlab.

Figura 41: Diagrama de Momentos Flectores.



Fuente: Autores – Matlab.

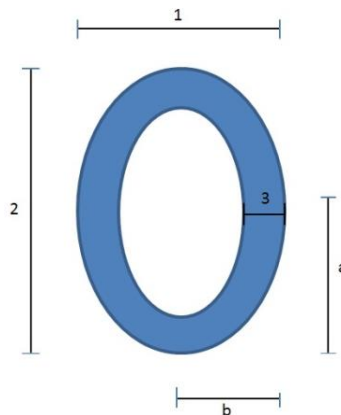
El valor del momento en la sección crítica de estudio (bisagra) extraído del diagrama de momentos [ver figura 41] es de 134Nm.

- **Calculo de Momento de Inercia.**

Como se trata de tubo y no de una sección maciza, se calculan los momentos de inercia correspondientes a las dimensiones exteriores e interiores, quedando como momento de inercia de la sección tubular la diferencia entre ambas [ver figura 42].

$$I_y = I_{yext} - I_{yint}$$

Figura 42: Sección Transversal de la Estructura.



Fuente: Autores.

Tabla 3: Distancias de la Sección Transversal.

Distancias	
Letra - Numero	Magnitud (m)
1	0,035
2	0,06
Δ	0,002
a=Ymax	0,03
b	0,0175

Fuente: Autores.

$$I_{yext} = \frac{\pi}{4} * a^3 * b = 3,71101x10^{-7} ; I_{yext} = \frac{\pi}{4} * (a - \Delta)^3 * (b - \Delta) = 2,67236x10^{-7}$$

$$I_y = 1,03864x10^{-7}$$

- **Calculo de Esfuerzo debido a Flexión.**

$$\sigma = \frac{M_f * Y_{max}}{I_y} = \frac{134 * 0,03}{1,03864x10^{-7}} = 38.704.387,12 Pa$$

- **Calculo de Factor de Seguridad.**

Para que un elemento no alcance el fallo mecánico en un cálculo de diseño, las sollicitaciones deben ser siempre menores a las resistencias.

Valores de resistencia del material

$$\sigma_y = 270.000.000 Pa \rightarrow \text{Limite Elasticos de Aluminio 6061}$$

$$F_s = \frac{\sigma_y}{\sigma} = \frac{270.000.000}{38.704.387,12} = 6,9759$$

4.3.1.2. Ensayo de fatiga con una fuerza vertical.

Este ensayo especificado por la norma UNE-EN 14764 debe someterse a todos los cuadros. El requisito al tratarse de un ensayo destructivo es que la estructura resista los esfuerzos a los que se somete. Esto se traduce en que una vez realizado el ensayo no debe observarse ninguna fisura ni rotura visible como tampoco separaciones en las partes móviles (suspensión, dirección, etc.).

Cabe decir que este ensayo se ha realizado de forma teórica y analíticamente para posteriormente construir el diseño.

- **Metodología de la Norma:**

El cuadro es colocado en la posición normal, fijado por la parte trasera de manera que se permita la rotación pero no la traslación (fijación en el punto A). Se instala una sujeción de rodillo en el eje delantero D para permitir la flexión del cuadro en el sentido longitudinal cuando es sometido a las cargas del ensayo.

Para realizar el ensayo debe colocarse una tija de acero macizo fijada mediante el sistema original de la bicicleta a la altura máxima permitida, en caso de desconocerse, a 250 milímetros. En la parte superior de esta barra se fija una extensión horizontal (6) en la dirección trasera de tal manera que su longitud dispone el punto de aplicación de la carga en una posición equivalente a la del centro del bastidor del sillín.

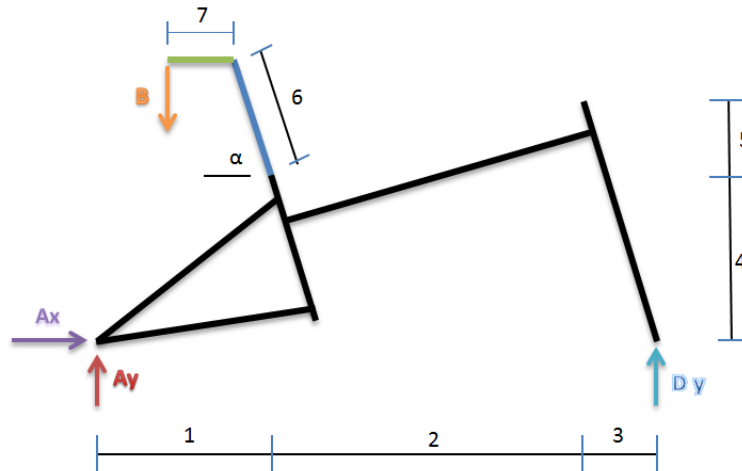
El cuadro es sometido a ciclos de fuerza dinámica verticales de 0 a +1.200 N en un punto situado a 70 mm detrás de la intersección de los ejes con la tija maciza de acero y de la extensión (6), como se muestra en la figura, durante 50.000 ciclos de ensayo a una frecuencia inferior o igual a 25 Hz.

- **Planteamiento del Problema.**

Como no se dispone de ningún prototipo con el que realizar un ensayo físico, se está ante un problema teórico de diseño a fatiga. Al ser un material de comportamiento frágil no se puede utilizar el concepto de diseño a vida infinita, sino que se habla de diseño a vida finita de 10^8 de ciclos. Esto es debido a que el material es aleación de aluminio y a que en éste, no existe ningún valor de tensión por debajo del cual se asegura la vida infinita del material. La solución se basa en la comparación entre las sollicitaciones y las resistencias.

Para ello hay que conocer qué tipo de sollicitaciones se tienen, caracterizando el ciclo de carga, obtener las tensiones normales equivalentes si fuera necesario y compararlas con la resistencia del límite elástico y con el límite de resistencia a la fatiga.

Figura 43: DCL de Ensayo de Fatiga con una Fuerza Vertical.



Fuente: Autores.

Tabla 4: Distancias para el Ensayo de Fatiga con Una Carga Vertical.

Distancias	
Numero	Magnitud (m)
1	0,3
2	0,53
3	0,17
4	0,285
5	0,09
6	0,25
7	0,07

Fuente: Autores.

Distancia de A-B

$$AB = 0,3 - 0,25\cos(1,256) - 0,07 = 0,1527m$$

Tabla 5: Ángulos Para el Ensayo de Fatiga con una Carga Vertical.

Angulo	
Letra	Magnitud (rad)
α	1,256

Fuente: Propio.

- Sumatoria de Fuerzas en X

$$\sum Fx = Ax = 0$$

- Sumatoria de Fuerzas en Y

$$\sum Fy = Ay - B + Dy = 0$$

$$Ay = 1200N - Dy$$

- Sumatoria de Momentos en A

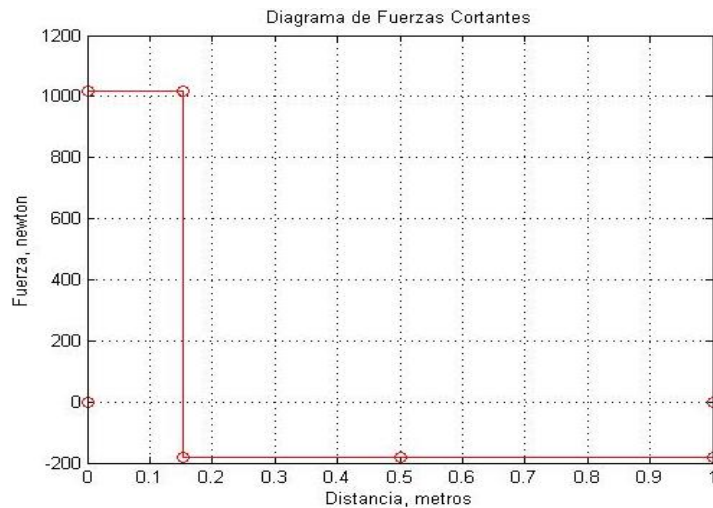
$$\sum MA = 1Dy - (0,1527 * 1200N) = 0$$

$$Dy = 183N$$

$$Ay = 1017N$$

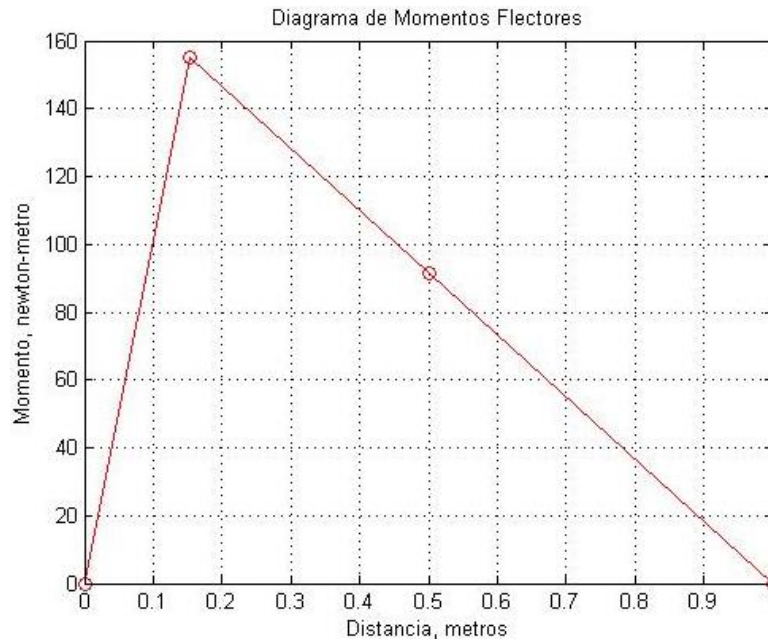
- Diagrama de Fuerzas Cortantes y Momentos Flectores [Ver figuras 44 - 45].

Figura 44: Diagrama de Fuerzas Cortantes.



Fuente: Propio – Matlab.

Figura 45: Diagrama de Momentos Flectores.



Fuente: Propio – Matlab.

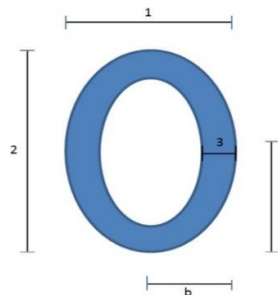
El momento debido a flexión en el punto de estudio (bisagra) es 91,61Nm como corresponde según la Figura 45.

- **Calculo de Momento de Inercia.**

Como se trata de tubo y no de una sección maciza, se calculan los momentos de inercia correspondientes a las dimensiones exteriores e interiores, quedando como momento de inercia de la sección tubular la diferencia entre ambas [ver figura 46].

$$I_y = I_{yext} - I_{yint}$$

Figura 46: sección Transversal de la Estructura.



Fuente: Autores.

Tabla 6: Distancias de la sección Transversal.

Distancias	
Letra - Numero	Magnitud (m)
1	0,035
2	0,06
3	0,002
a = Ymax	0,03
b	0,0175

Fuente: Autores.

$$I_{yext} = \frac{\pi}{4} * a^3 * b = 3,71101x10^{-7} ; I_{yext} = \frac{\pi}{4} * (a - \Delta)^3 * (b - \Delta) = 2,67236x10^{-7}$$

$$I_y = 1,03864x10^{-7}m^4$$

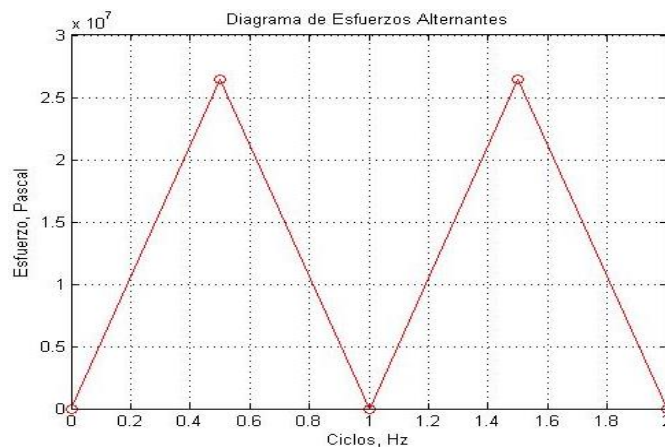
- **Calculo de Esfuerzo Debido a Flexión.**

$$\sigma = \frac{Mf * Ymax}{I_y} = \frac{91,6 * 0,03}{1,03864x10^{-7}} = 26.461.425 Pa$$

- **Diagrama de Esfuerzos Alternantes.**

A continuación puede observarse que el hecho de cargar y descargar la misma fuerza periódicamente resulta en un esfuerzo pulsante para la estructura [ver figura 47].

Figura 47: Diagrama de Esfuerzo Alternante



Fuente: Autores – Matlab.

$$\sigma_{\max} = 26.461.425 \text{ Pa} ; \sigma_{\min} = 0 \text{ Pa}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} = \frac{26.461.425 + 0}{2} = 13.230.712 \text{ Pa}$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} = \frac{26.461.425 - 0}{2} = 13.230.712 \text{ Pa}$$

- **Calculo de Resistencia a la Fatiga Corregido.**

Los valores de resistencia vienen dados por el límite elástico (σ_y) (si se está realizando un diseño donde se pretende que las deformaciones no sean plásticas) y por tanto es un valor intrínseco del material, y de la tensión máxima de resistencia a la fatiga. Esta última es función de varios factores que modifican su valor y que dependen del material, tipo de esfuerzo, tamaño, etc., y que en este caso no es la tensión a vida infinita, sino que corresponde al límite convencional de 10^8 ciclos.

$$\sigma_R = 310.000.000 \text{ Pa} \rightarrow \text{Limite de Rotura}$$

$$\sigma_{N=10^8} = (k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f) * \sigma'_{N=10^8}$$

$$\sigma'_{N=10^8} = 0,4 * \sigma_R = 0,4 * 310.000.000 = 124.000.000 \text{ Pa}$$

$k_a = 0,83$ (*Material*) → Corresponde al factor de acabado de superficial.

$k_c = 1$ (*Flexión*) → Es el factor de tipo de carga.

$k_d = 1$ (*Temp Amb.*) → Corresponde al factor de temperatura.

$k_e = 0,868$ (*Con. 98%*) → Es el factor de confiabilidad.

$k_f = 1$ (*No Concentradores*) → Factor de concentradores.

$k_b = 0,91$ (*tabla*) → Se refiere al factor de tamaño.

$$de = \sqrt{\frac{4}{\pi} * A_{elipse}} = 0,01907m$$

$$A_{elipse} = \pi * ((a * b) - ((a - \Delta) * (b - \Delta)))$$

$$= \pi * (0,03 * 0,0175 - 0,028 * 0,0155) = 0,0002858m^2$$

$$\sigma_{N=10^8} = (k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f) * \sigma'_{N=10^8}$$

$$= 0,83 * 0,91 * 1 * 1 * 0,868 * 1 * 124.000.000 = 81.294.449,6 Pa$$

Valores de resistencia del material

$$\sigma_y = 270.000.000 Pa \rightarrow \text{Limite Elasticos de Aluminio 6061}$$

$$\sigma_{N=10^8} = 81.294.449,6 Pa \rightarrow \text{Limite de resistencia a la Fatiga}$$

- **Calculo de Factor de Seguridad.**

Para que un elemento no alcance el fallo mecánico en un cálculo de diseño, las sollicitaciones deben ser siempre menores a las resistencias.

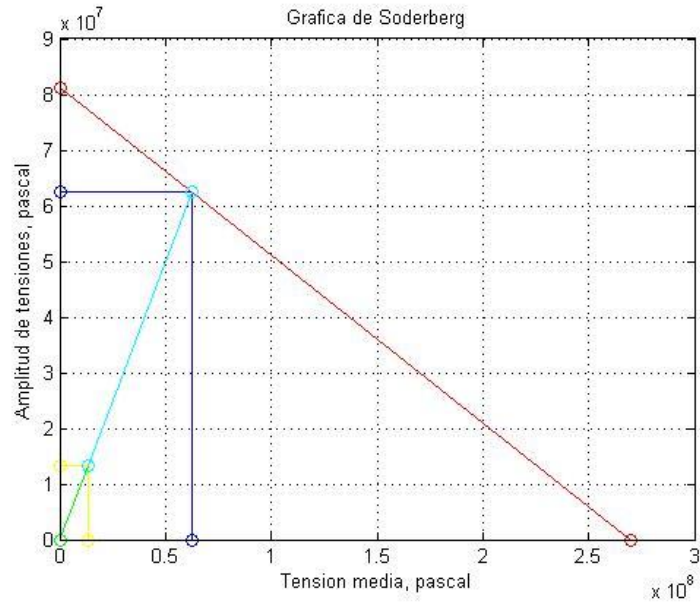
$$\sigma_m = 13.230.712 Pa \leq \sigma_y = 270.000.000 Pa \rightarrow \text{Componente Estatica}$$

$$\sigma_a = 13.230.712 Pa \leq \sigma_{N=10^8} = 81.294.000 Pa \rightarrow \text{Componente Alternante}$$

Al estar la pieza sometida tanto a esfuerzos estáticos como a esfuerzos de componente variable, el fallo no ocurrirá cuando una combinación de ambos esfuerzos no supere una combinación de la resistencia. Esto quiere decir, que se deben comparar las dos componentes al mismo tiempo.

Para definir el factor de seguridad que se obtiene de esta comparación en un elemento sometido a fatiga existen diferentes criterios. En este caso y basándose en el método de Söderberg [ver figura 48].

Figura 48: Grafica de Soderberg.



Fuente: Autores – Matlab.

$$y = x \quad \rightarrow \quad \sigma_{as} = \sigma_{ms}$$

$$y = -mx + b \quad \rightarrow \quad y = -0,3011x + 81,3$$

$$\sigma_{as} = -0,3011\sigma_{as} + 81,3 = \frac{81,3}{1,3011} = 62.481.777 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{ms} = 62.481.777 \text{ Pa}$$

$$Fs = \frac{\sigma_{ms}}{\sigma_{mp}} = \frac{62.481.777}{13.230.712} = 4,7224$$

- **Calculo Número de Ciclos para Falla.**

A continuación se calcula el número de ciclos estimado al cual la pieza fallará cuando está sometida a las sollicitaciones provocadas por el ensayo en cuestión. Para ello se usa el Diagrama de Wöhler.

$$\log \sigma_N = (-m * \log N) + n$$

$$m = \frac{1}{3} \log \frac{\sigma_{N=10^3}}{\sigma_{N=10^8}} \quad ; \quad n = \log \left(\frac{\sigma_{N=10^3}^2}{\sigma_{N=10^8}} \right)$$

$$\sigma_{N=10^3} = (ka * kb * kc * kd * ke * kf) * \sigma'_{N=10^3}$$

$$\sigma'_{N=10^3} = 0,9 * \sigma_R = 0,9 * 310.000.000 = 279.000.000 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{N=10^3} = 0,83 * 0,91 * 1 * 1 * 0,868 * 1 * 0,6556 * 279.000.000 = 182.912.512 \text{ Pa}$$

Calculo de esfuerzo referente.

Se refiere a un valor de esfuerzo que recoja ambas componentes del ensayo (estática y variable) en una única sigma, ya que en el diagrama de Wöhler sólo se admiten tensiones alternativas [ver figura 49].

$$\sigma_{ref} = \frac{\sigma_y * \sigma_a}{\sigma_y - \sigma_m} = \frac{270.000.000 * 13.230.712}{270.000.000 - 13.230.712} = 13.912.459 \text{ Pa}$$

$$\log(\sigma_{ref}) = \left(-\frac{1}{3} \log \frac{\sigma_{N=10^3}}{\sigma_{N=10^8}} * \log N \right) + \log \left(\frac{\sigma_{N=10^3}^2}{\sigma_{N=10^8}} \right)$$

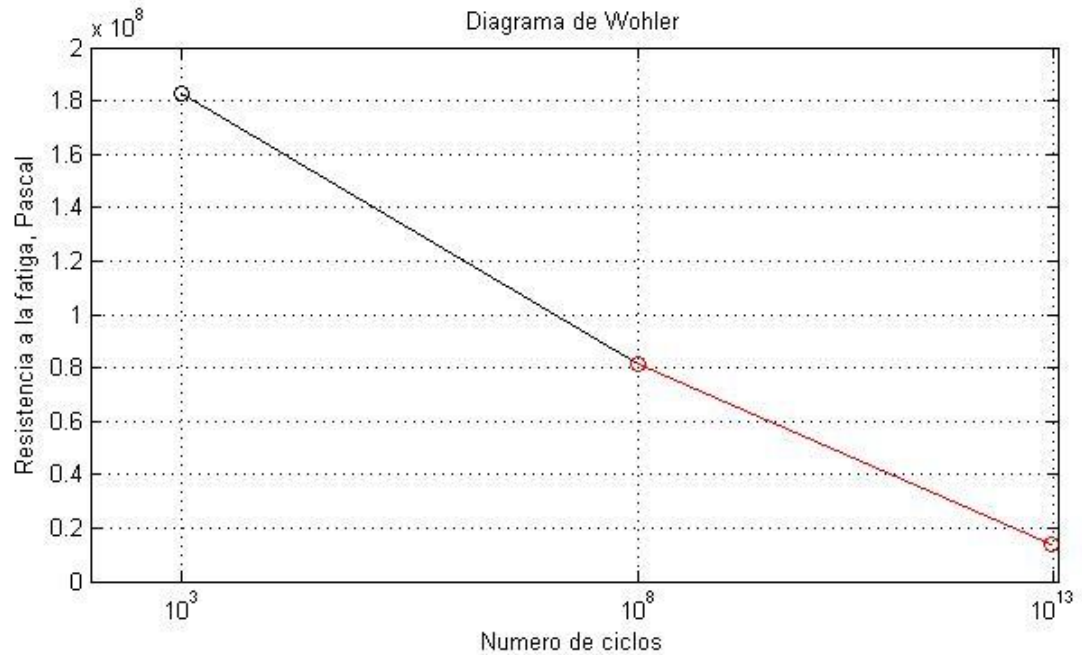
$$\log(13.912.459) = \left(-\frac{1}{3} \log \frac{182.912.512}{81.294.450} * \log N \right) + \log \left(\frac{(182.912.512)^2}{81.294.450} \right)$$

$$N = 10^{12,5306} = 3,3933 \times 10^{12}$$

Como podemos identificar, el número de ciclos resultante es mayor al que exige la norma para aprobar el marco con este tipo de ensayo.

$$N = 3,3933 \times 10^{12} > N = 50000$$

Figura 49: Diagrama de Wohler.



Fuente: Autores – Matlab.

- **Calculo de Esfuerzo para que Falle a 50000 Ciclos.**

Este esfuerzo es al que debería someterse la estructura para que falle a los 50000 ciclos que exige la norma como mínimo requisito.

$$\log(\sigma_N) = \left(-\frac{1}{3} \log \frac{182.912.512}{81.294.450} * \log 50.000\right) + \log\left(\frac{(182.912.512)^2}{81.294.450}\right)$$

$$\sigma_N = 10^{8,0627} = 115.556.461,6 Pa$$

Conclusiones.

- Al tratarse de un material de comportamiento frágil, se habla de vida máxima como la vida a 108 ciclos. Por tanto, la vida estimada real de la pieza es de 108 ciclos, superando el requerimiento del ensayo que estipulaba como valor umbral los 50.000 ciclos.
- Debido a los elevados factores de seguridad obtenidos se puede asegurar la no falla de la estructura.

4.3.1.3. Ensayo de fatiga con fuerzas de pedaleo.

En este caso el cuadro es sometido a los esfuerzos provocados por el pedaleo a un número determinado de ciclos. Todos los cuadros deben someterse a este ensayo. El requisito a cumplir, y nuevamente al tratarse de un ensayo destructivo, es que la estructura resista los esfuerzos a los que se somete.

Igual que el ensayo anterior, se ha realizado de forma teórica y analítica.

- **Metodología del Ensayo.**

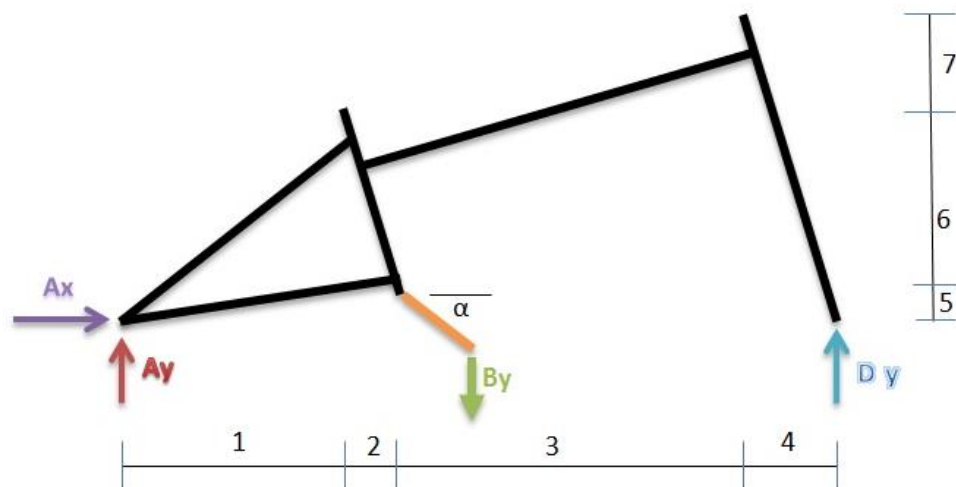
El cuadro es montado sobre una base con la horquilla fijada por su eje a un dispositivo R_w (radio de la rueda ± 30 mm). Se fija también el eje posterior garantizando una rigidez en un plano lateral y provisto de una unión esférica en el extremo inferior.

Se instala un conjunto de sustitución rígido y resistente en el cubo del pedalier para la transmisión.

Se asegura que este conjunto pueda girar libremente y que la longitud (L) de las bielas de sustitución es de 175 milímetros. Éstas deben estar dispuesta hacia delante y hacia abajo con un ángulo de 45° respecto la horizontal. Una vez dispuestas se bloquean los componentes de sustitución en esta posición con la ayuda de un brazo de palanca vertical y un tirante provisto de juntas esféricas en ambos extremos y que se conecta al eje trasero perpendicularmente al eje del centro de rueda. La longitud de brazo vertical (R_c) debe ser 75 mm y el eje tirante debe ser paralelo y estar a 50 mm del plano transversal vertical del cuadro.

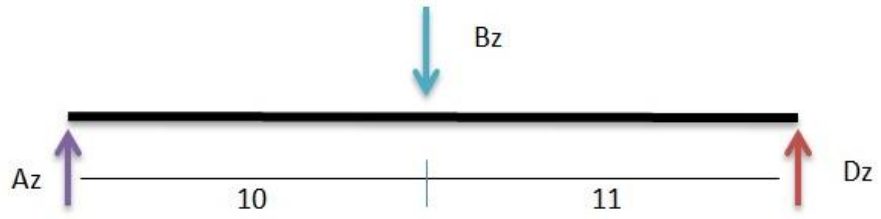
Se somete cada eje de pedal a una fuerza repetida de 1.000 N en un punto situado a 150 mm del eje del cuadro en un plano transversal vertical y con una inclinación de $7,5^\circ$ respecto al plano longitudinal del cuadro. Durante la aplicación de las fuerzas de ensayo, se verifica que la fuerza sobre un eje de pedal ha descendido como mínimo al 5% de su máxima antes de comenzar a aplicar la fuerza de ensayo del pedal opuesto. Se aplican las fuerzas durante 100.000 ciclos, sabiendo que uno consiste en aplicar y retirar ambas fuerzas.

Figura 50: DCL para Ensayo de Fatiga con Fuerzas de pedaleo – Plano XY



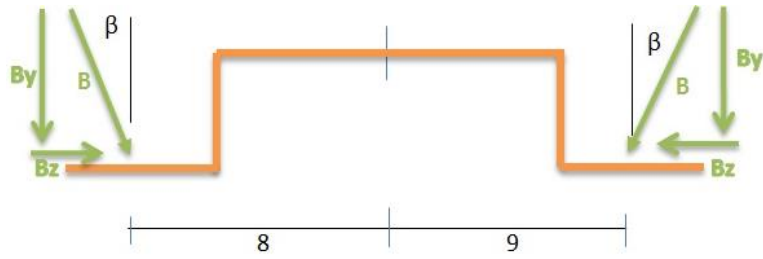
Fuente: Autores.

Figura 51: DCL para Ensayo de Fatiga con Fuerzas de Pedaleo – Plano XZ



Fuente: Autores.

Figura 52: DCL para Ensayo de Fatiga con Fuerzas de Pedaleo - Plano YZ



Fuente: Autores.

Tabla 7: Distancias de la Estructura para el Ensayo.

Distancias	Magnitud (m)
1	0,3
2	0,07
3	0,46
4	0,17
5	0,07
6	0,215
7	0,09
8	0,15
9	0,15
10	0,493743687
11	0,506256313
12	0,175
X	0,123743687
Y	0,123743687

Fuente: Autores.

Tabla 8: Ángulos en la Estructura para el Ensayo.

Ángulos	Magnitud (rad)
$\alpha = 45$	0,785398163
$\beta = 7,5$	0,130899694

Fuente: Autores.

Las hipótesis para este ensayo son las mismas que para los anteriores. Además, se considera que al existir simetría entre ambas fuerzas aplicadas en cada uno de los pedales, los esfuerzos causados por una serán los opuestos a la otra. Por tanto, se realiza el cálculo sólo para un lado.

$$By = 1000 \cos(0,13089) = 991,44N$$

$$Bz = 1000 \sin(0,13089) = 130,52N$$

- Sumatoria de Fuerzas en X – Plano XY

$$\sum Fx = Ax = 0$$

- Sumatoria de Fuerzas en Y – Plano XY

$$\sum Fy = Ay - By + Dy = 0$$

$$Ay = 991,44N - Dy$$

- Sumatoria de Momentos en A – Plano XY

$$\sum MA = 1Dy - (0,4937 * 991,44N) = 0$$

$$Dy = 489,51N$$

$$Ay = 501,92N$$

- Sumatoria de Fuerzas en Z – Plano XZ

$$\sum Fz = Az - Bz + Dz = 0$$

$$Az = 130,52N - Dz$$

- Sumatoria de Momentos en A – Plano XZ

$$\sum MA = 1Dz - (0,4937 * 130,52N) = 0$$

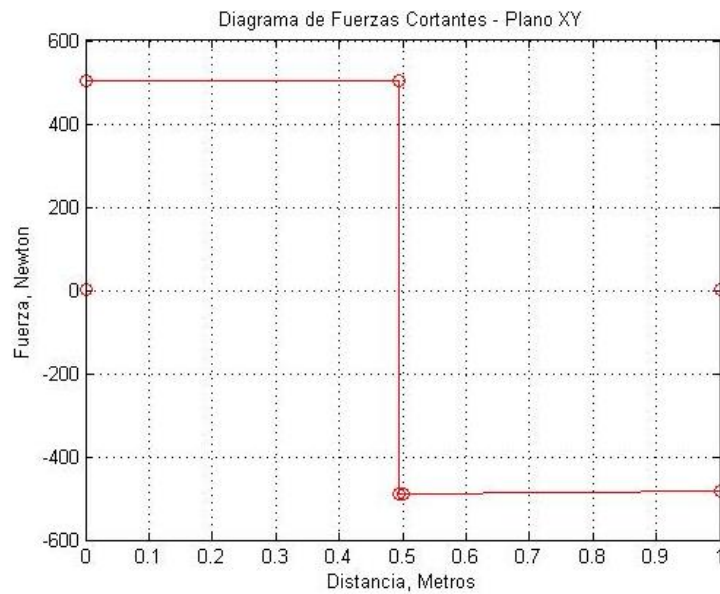
$$Dz = 64,44N$$

$$Az = 66,07N$$

- Diagramas de Fuerzas Cortantes y Momentos Flectores.

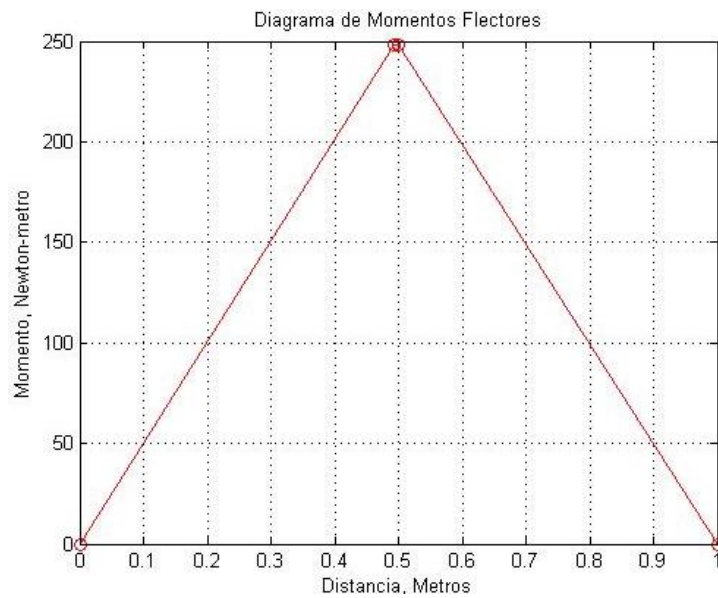
Plano XY [ver figuras 53 - 54]

Figura 53: Diagrama de Fuerzas Cortantes – Plano XY.



Fuente: Autores – Matlab.

Figura 54: Diagrama de Momentos Flectores – Plano XY

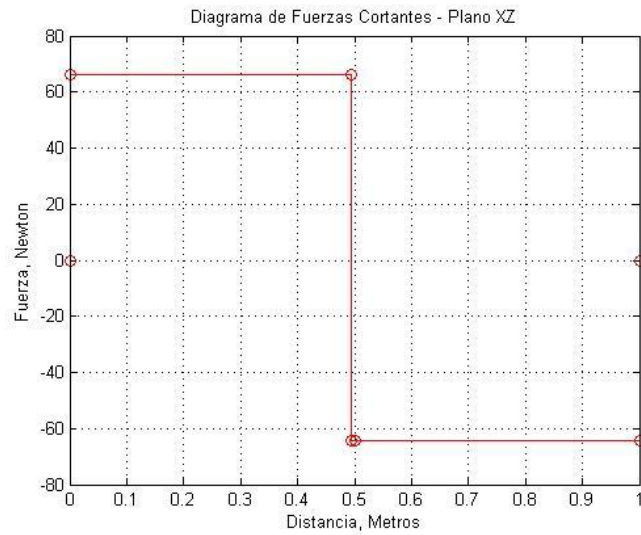


Fuente: Autores – Matlab.

El momento flector M_fz en el punto de interés (bisagra) es 244,75Nm causado debido a la carga B_y como muestra el diagrama [ver figura 54].

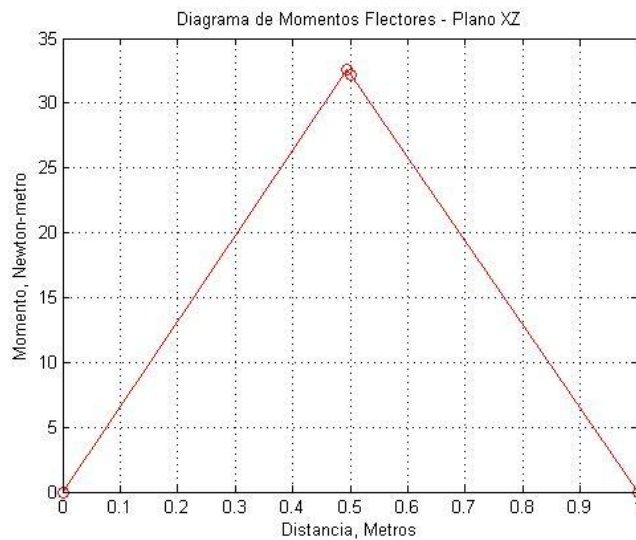
Plano XZ [ver figuras 55 – 56]

Figura 55: Diagrama de Fuerzas Cortantes – Plano XZ.



Fuente: Autores – Matlab.

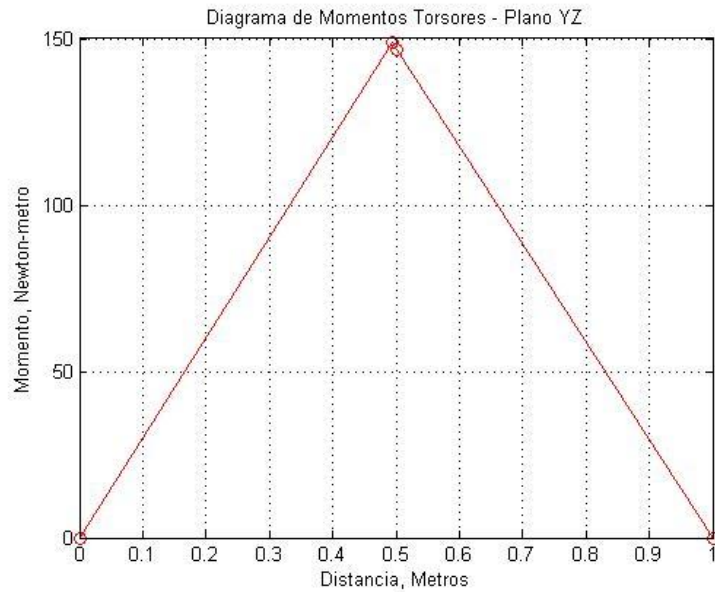
Figura 56: Diagrama de Momentos Flectores – Plano XZ



Fuente: Autores – Matlab.

El momento flector M_{fz} en el punto de interés (bisagra) es 32,22Nm causado debido a la carga B_z como muestra el diagrama [ver figura 56].

Figura 57: Diagrama de Momentos Torsores – Plano YZ.



Fuente: Autores – Matlab.

El momento torsor M_t en el punto de interés (bisagra) es $146,87\text{Nm}$ causado debido a la carga B_y como muestra el diagrama [ver figura 57].

Momentos en el punto de interés.

$$M_{fy} = 244,75\text{Nm}$$

$$M_{fz} = 32,22\text{Nm}$$

$$M_t = 146,87\text{Nm}$$

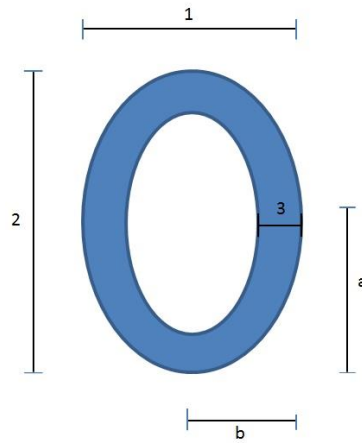
- **Calculo de Momentos de Inercia.**

Como se trata de tubo y no de una sección maciza, se calculan los momentos de inercia correspondientes a las dimensiones exteriores e interiores, quedando como momento de inercia de la sección tubular la diferencia entre ambas [ver figura 58].

$I_y = I_{yext} - I_{yint} \rightarrow$ Primer Momento Polar de Inercia.

$I_o = I_{oext} - I_{oint} \rightarrow$ Segundo Momento Polar de Inercia.

Figura 58: sección Transversal de la Estructura.



Fuente: Autores.

Tabla 9: Distancias de la sección Transversal.

Distancias	
Letra - Numero	Magnitud (m)
1	0,035
2	0,06
3	0,002
a = Ymax	0,03
b	0,0175

Fuente: Autores.

$$I_{yext} = \frac{\pi}{4} * a^3 * b = 3,71101x10^{-7} ; I_{yext} = \frac{\pi}{4} * (a - \Delta)^3 * (b - \Delta) = 2,67236x10^{-7}$$

$$I_y = 1,03864x10^{-7}m^4$$

$$I_{oext} = \frac{\pi}{4} * a^3 * b = 3,71101x10^{-7} ; I_{oext} = \frac{\pi}{4} * (a - \Delta)^3 * (b - \Delta) = 2,67236x10^{-7}$$

$$I_o = 1,4824 \times 10^{-7} m^4$$

- **Calculo de Esfuerzos Debido a Flexión y Torsión.**

Los esfuerzos causados por todas las fuerzas en la sección de la bisagra se muestran a continuación.

$$\sigma_{fy} = \frac{M_{fy} * Y_{max}}{I_y} = \frac{244,75 * 0,03}{1,03864 \times 10^{-7}} = 70.696.110,7 Pa$$

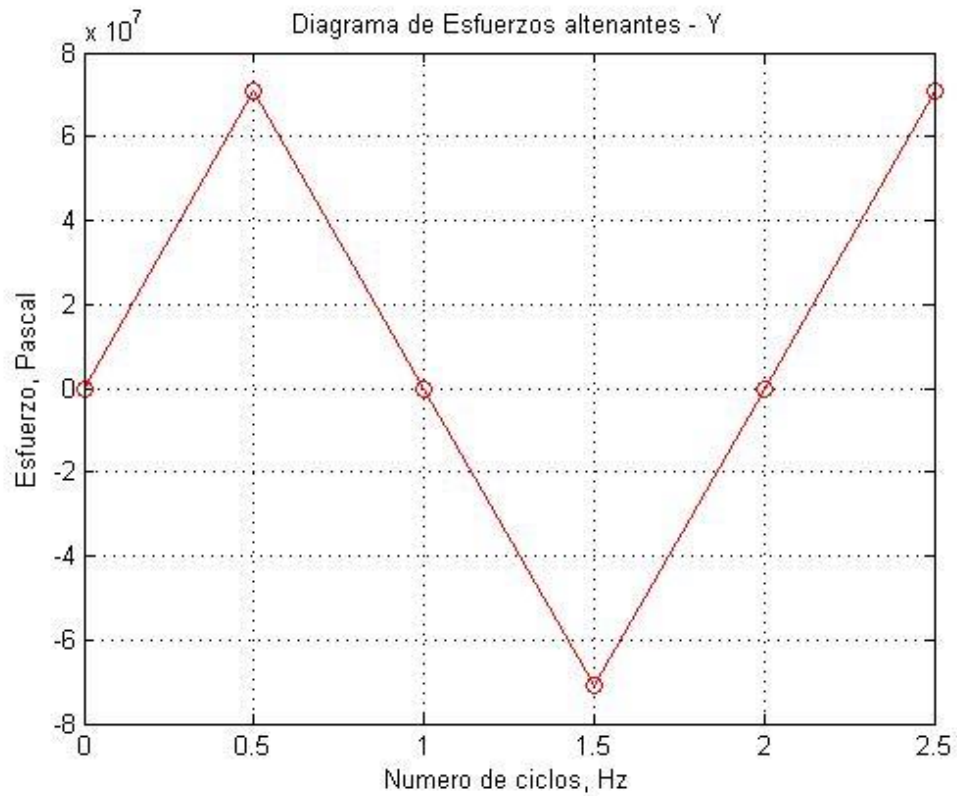
$$\sigma_{fz} = \frac{M_{fz} * Y_{max}}{I_y} = \frac{32,22 * 0,03}{1,03864 \times 10^{-7}} = 9.307.319,5 Pa$$

$$\tau = \frac{M_t * Y_{max}}{I_o} = \frac{146,87 * 0,03}{1,4824 \times 10^{-7}} = 29.722.700,1 Pa$$

- **Diagrama Esfuerzos Alternantes.**

En este caso, los esfuerzos son cíclicos y simétricos. Esto significa que las tensiones oscilan entre valores máximos y mínimos de igual magnitud [ver figuras 59 - 60 - 61].

Figura 59: Diagrama de Esfuerzos Alternantes - σ_{fy}



Fuente: Autores – Matlab.

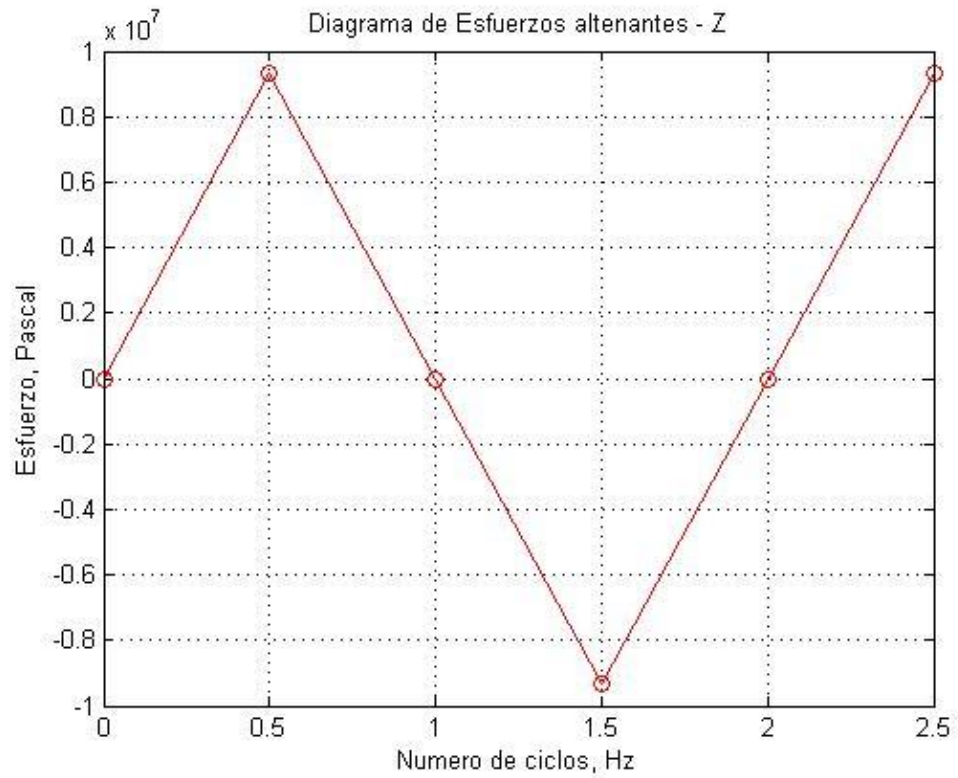
$$\sigma_{\max} = 70.696.110,8 \text{ Pa} ; \sigma_{\min} = -70.696.110,8 \text{ Pa}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} = \frac{70.696.110,8 - 70.696.110,8}{2} = 0 \text{ Pa}$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} = \frac{70.696.11,8 + 70.696.110,8}{2} = 70.696.110,8 \text{ Pa}$$

$$\sigma_a = \sigma_y = 70.696.110,8 \text{ Pa}$$

Figura 60: Diagrama de Esfuerzos Alternantes – $\sigma_f z$



Fuente: Autores – Matlab.

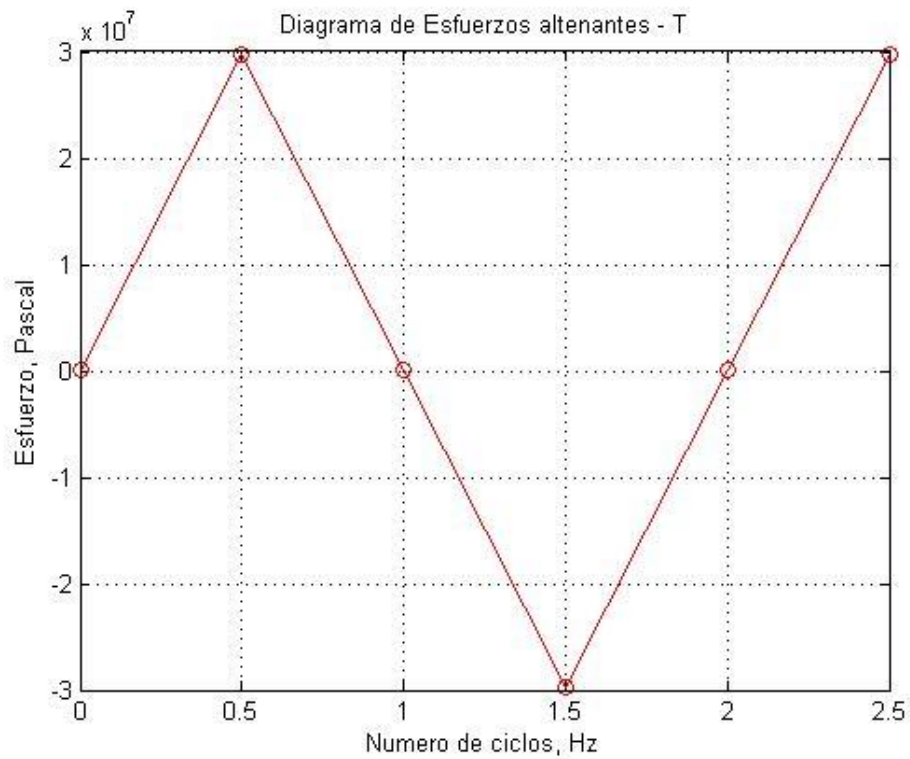
$$\sigma_{\max} = 9.307.319,55 \text{ Pa} ; \sigma_{\min} = -9.307.319,55 \text{ Pa}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} = \frac{9.307.319,55 - 9.307.319,55}{2} = 0 \text{ Pa}$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} = \frac{9.307.319,55 + 9.307.319,55}{2} = 9.307.319,55 \text{ Pa}$$

$$\sigma_a = \sigma_z = 9.307.319,55 \text{ Pa}$$

Figura 61: Diagrama de Esfuerzos Alternantes – σ



Fuente: Autores – Matlab.

$$\sigma_{\max} = 29.722.700,1 \text{ Pa} ; \sigma_{\min} = -29.722.700,1 \text{ Pa}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} = \frac{29.722.700,1 - 29.722.700,1}{2} = 0 \text{ Pa}$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} = \frac{29.722.700,1 + 29.722.700,1}{2} = 29.722.700,1 \text{ Pa}$$

$$\sigma_a = \tau = 29.722.700,1 \text{ Pa}$$

Resultantes de esfuerzos alternantes.

$$\sigma_a = \sigma_y = 70.696.110,8 \text{ Pa}$$

$$\sigma_a = \sigma_z = 9.307.319,55 \text{ Pa}$$

$$\sigma_a = \tau = 29.722.700,1 \text{ Pa}$$

- **Cálculos de Esfuerzos Principales de MOHR.**

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_z + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_z + \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau^2}$$

$$\sigma_{1,2} = \frac{9.307.319,5 + 70.696.110,8}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{9.307.319,5 + 70.696.110}{2}\right)^2 + 29.722.700^2}$$

$$\sigma_1 = 82.728.578,2 \text{ Pa}; \sigma_2 = -2.725.147,86 \text{ Pa}$$

- **Calculo de Esfuerzo Equivalente de Von Misses.**

$$\sigma_{eq VM} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - (\sigma_1 * \sigma_2)}$$

$$\sigma_{eq VM} = \sqrt{82.728.578,2^2 + (-2.725.147,8^2 - (82.728.578,2 * -2.725.147,8))}$$

$$\sigma_{eq VM} = 84.124.263,37 \text{ Pa}$$

- **Cálculos de Resistencia a la Fatiga.**

Los cálculos de resistencia a la fatiga son los mismos del ensayo anterior debido a que son bajo las mismas condiciones, el mismo material y la misma sección transversal, así que solamente procedemos a tomar los datos y utilizarlos para este ensayo.

$$\sigma_y = 270.000.000 \text{ Pa} \rightarrow \text{Limite Elasticos de Aluminio 6061}$$

$$\sigma_{N=10^8} = 81.294.449,6 \text{ Pa} \rightarrow \text{Limite de resistencia a la Fatiga}$$

$$\sigma_{N=10^3} = 182.912.512 \text{ Pa}$$

- **Calculo de Factor de seguridad.**

$$Fs = \frac{\sigma_{eq} VM}{\sigma_{N=10^8}} = \frac{84.124.263,37}{81.294.449,6} = 1,034$$

- **Calculo de Número de Ciclos para Falla.**

$$\log(\sigma_{eq} VM) = \left(-\frac{1}{3} \log \frac{\sigma_{N=10^3}}{\sigma_{N=10^8}} * \log N\right) + \log\left(\frac{(\sigma_{N=10^3})^2}{\sigma_{N=10^8}}\right)$$

$$\log(84.124.263,37) = \left(-\frac{1}{3} \log \frac{182.912.512}{81.294.450} * \log N\right) + \log\left(\frac{(182.912.512)^2}{81.294.450}\right)$$

$$N = 10^{5,8734} = 747.161,83$$

Como podemos identificar, el número de ciclos resultante es mayor al que exige la norma para aprobar el marco con este tipo de ensayo.

$$N = 747.161,83 > N = 100.000$$

- **Calculo de Esfuerzo para que Falle a 50000 Ciclos.**

Este esfuerzo es al que debería someterse la estructura para que falle a los 100.000 ciclos que exige la norma como mínimo requisito.

$$\log(\sigma_N) = \left(-\frac{1}{3} \log \frac{182.912.512}{81.294.450} * \log 100.000\right) + \log\left(\frac{(182.912.512)^2}{81.294.450}\right)$$

$$\sigma_N = 10^{8,02745} = 106.525.865,6 Pa$$

Conclusiones.

- Debido a que el factor de seguridad es favorable, se puede asegurar que se superan los ciclos mínimos exigidos por la normativa (100.000) con lo que si verifica la resistencia del cuadro de la bicicleta a este ensayo.

4.3.2. Pruebas de desempeño del prototipo final.

El objetivo de estas pruebas se centra en obtener valores que respalden el potencial para ser tenido en cuenta como el medio de transporte idóneo para la movilidad en el área metropolitana de Bucaramanga, en estos ensayos se busca obtener datos de variables como: autonomía, velocidades y costos de movilidad.

En estos ensayos se hicieron recorridos por diferentes puntos del área metropolitana.

- Recorrido 1: Pta. del Sol – Girón – Floridablanca – Rompoy Plata cero [ver figura 65].

Resultados:

Distancia: 23,8 km

Velocidad Promedio: 18,5 km/h

Tiempo: 1:17:15 h

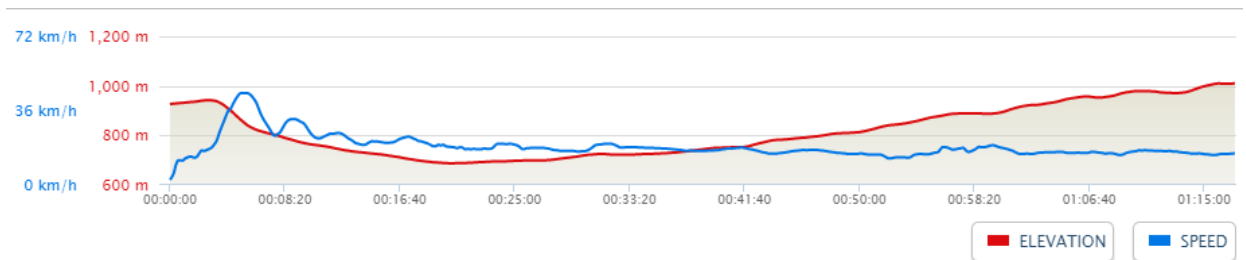
El indicador de carga de la batería arroja que luego del cumplir con este recorrido todavía tiene una reserva de 1/3 del total de carga.

Figura 62: Mapa del Recorrido 1.



Fuente: Autores. - App iMapMyRide.

Figura 63: Curva Elevación vs Velocidad – Recorrido 1.



Fuente: Autores. - App iMapMyRide.

- Recorrido 2: Empresa Coca cola – Pta. del sol – UIS – Gobernación – Pta. del sol [ver figura 67].

Resultados:

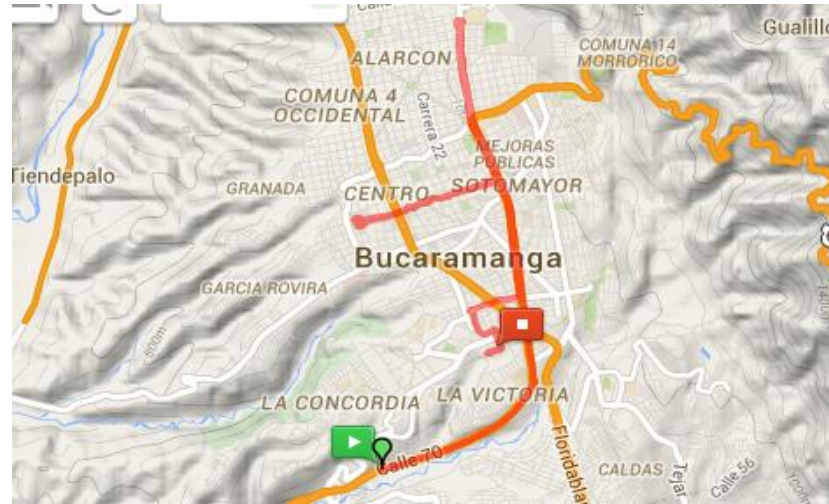
Distancia: 14,59 km

Velocidad Promedio: 15,8 km/h

Tiempo: 0:55:19 h

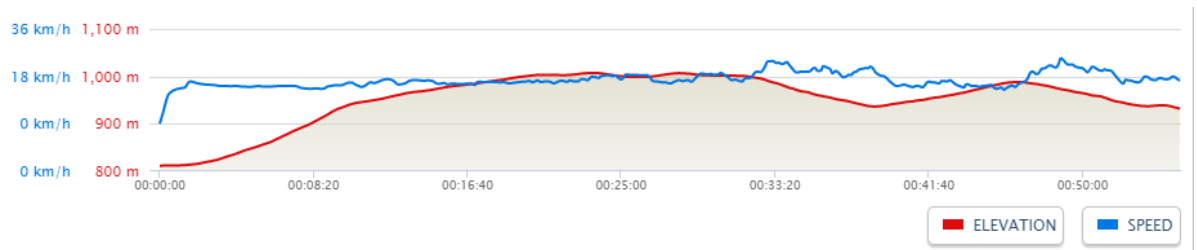
El indicador de carga de la batería arroja que luego del cumplir con este recorrido todavía tiene una reserva de 2/3 del total de carga.

Figura 64: Mapa de Recorrido 2.



Fuente: Autores. - App iMapMyRide.

Figura 65: Curva Elevación vs Velocidad – Recorrido 2.



Fuente: Autores. - App iMapMyRide.

- Recorrido 3: Girón – Pta. del Sol [ver figura 69].

Resultados:

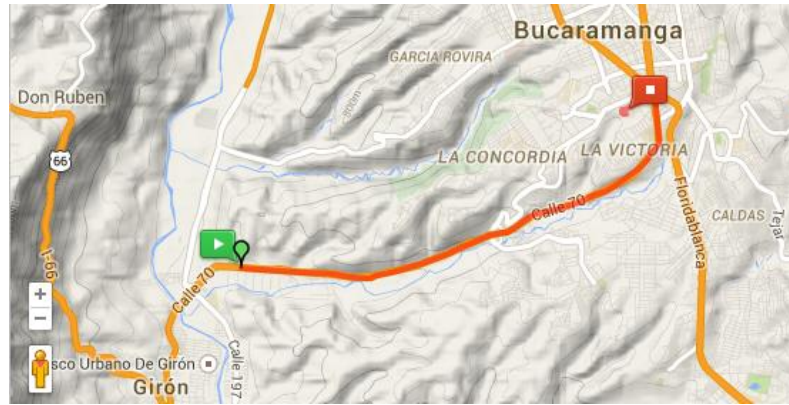
Distancia: 7,27 km

Velocidad Promedio: 14,1 km/h

Tiempo: 0:30:55 h

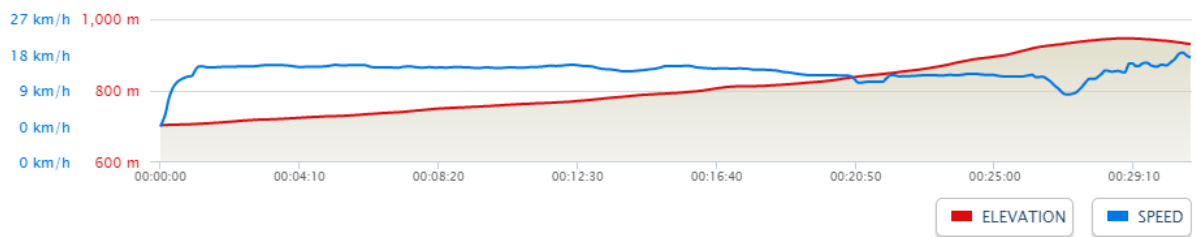
El indicador de carga de la batería arroja que luego del cumplir con este recorrido todavía tiene una reserva de 2/3 del total de carga.

Figura 66: Mapa de Recorrido 3.



Fuente: Autores. - App iMapMyRide.

Figura 67: Curva Elevación vs Velocidad – Recorrido 3.



Fuente: Autores.- App iMapMyRide.

- **Cálculos de Consumo energético Mensual.**

Estos cálculos hacen referencia al costo mensual por recarga de la batería para hacer recorridos de la Pta del Sol - Universidad Pontificia Bolivariana y Universidad Pontificia Bolivariana – Pta del Sol de forma diaria por los 22 días hábiles del mes.

De los recorridos practicados podemos decir que la autonomía de la bicicleta ronda los 35 km (varía según la elevación del terreno).

Para cargar la batería de 36V – 10 Ah se necesitan gastar 400W de energía, distribuidos así:

$$90\% \rightarrow 36V * 10Ah = 360W \text{ (Carga Bateria)}$$

$$10\% \rightarrow 40W \text{ (Perdida de Energia)}$$

$$400W \rightarrow 35km \text{ (autonomia)}$$

Distancia Recorrido (ida-vuelta): 31,5km/día

Días hábiles: 22 días/mes

Valor Kw/h (Estrato 4): 382,14 Pesos según ESSA

Calculo del costo.

$$\frac{31,5km}{dia} * \frac{22dias}{mes} = \frac{693km}{mes}$$

$$400W \rightarrow 35km$$

$$x \rightarrow 693km$$

$$x = 7,92KW$$

$$1KW \rightarrow \$382,14 \text{ Pesos}$$

$$7,92KW \rightarrow x$$

$$x = \$309,59 \text{ Pesos/mes}$$

Según estos cálculos el costo mensual para movilizarse por este recorrido característico es de \$3092.14 pesos, demostrando que el valor es considerablemente bajo a comparación de lo que puede valer un galón de gasolina corriente para una motocicleta o de igual manera el valor del transporte urbano.

$$\text{Moto Yamaha Cypton 115} \rightarrow \frac{160\text{km}}{\text{galon}}$$

$$\text{Moto Yamaha Cryton 115} \rightarrow 4,33 \frac{\text{galones}}{\text{mes}}$$

$$\text{Moto Yamaha Crypton 115} \rightarrow \frac{4,33 \text{ galones}}{\text{mes}} * \frac{7.700 \text{ pesos}}{\text{galon}} = \frac{33.341 \text{ Pesos}}{\text{mes}}$$

$$\text{Metrolinea} \rightarrow 1.850 \frac{\text{Pesos}}{\text{pasaje}}$$

$$\text{Metrolinea} \rightarrow 3.700 \frac{\text{Pesos}}{\text{dia}} * 22 \frac{\text{Dias}}{\text{mes}} = 81.400 \frac{\text{Pesos}}{\text{mes}}$$

Resultados.

$$\text{Bicicleta Electrica Plegable} \rightarrow \$3026.59 \frac{\text{Pesos}}{\text{mes}}$$

$$\text{Moto Yamaha Crypton 115} \rightarrow 33.341 \frac{\text{Pesos}}{\text{mes}}$$

$$\text{Metrolinea} \rightarrow 81.400 \frac{\text{Pesos}}{\text{mes}}$$

Para identificar la magnitud de la diferencia de los costos; podemos decir que movilizarse en moto de bajo cilindraje cuesta 10 veces más que hacerlo en la bicicleta eléctrica y de igual forma hacerlo en Metrolinea cuesta 26 veces más; además, hay ciertos puntos de interés que hay que tener en cuenta y que su vez incrementarían los costos, como por ejemplo: Soat, revisiones técnico mecánicas, mantenimientos, pico y placa y otros.

5. CONCLUSIONES

El objetivo general del proyecto presentado consistía en la obtención de una bicicleta eléctrica plegable. El resultado final obtenido y presentado, corresponde a un concepto de diseño inicialmente establecido y posteriormente probado.

Se logró cumplir con efectos secundarios positivos las condiciones iniciales de diseño; primero, se desarrolló el ejercicio del diseño en el software solidworks de acuerdo a ellas y en segunda instancia la estructura diseñada cumplió con los ensayos realizados de forma analítica bajo la Norma Española UNE-EN 14764; ensayos que suministraron conclusiones que demuestran la larga vida de la estructura.

El prototipo logro cumplir cada una de las consideraciones iniciales, entregando valores que demuestran lo anterior; con reducciones del 74 % en el volumen ocupado, peso de 11.5 kg y tiempo de plegado de 12 segundos.

Finalmente, se realizaron pruebas de desempeño que contempla recorridos, velocidades, consumo de energía y costos de movilidad mensual; para posteriormente compararlos con la motocicleta.

Con los recorridos realizados se pudo establecer que para un recorrido de diferentes elevaciones se puede tener una autonomía aproximada de 35 km por carga de batería, a raíz de esto se hicieron cálculos del costo mensual que genera recargar la batería en una vivienda de estrato 4 para un recorrido diario de 31,5 km (Pta del sol – Upb, ida y vuelta); constatando que: el costo de movilidad mensual para la bicicleta es de \$3.036 a comparación con el de una motocicleta Yamaha Crypton que es #33.341 y el del transporte urbano Metrolinea con \$81.400.

El aspecto económico es positivo, pero también hay otros condescendientes de este tipo de transporte, como por ejemplo, ahorro en el Seguro Obligatorio – SOAT, no tiene pico y placa, no ocupa mucho espacio, mejora la condición física del usuario reduce el estrés, mejora la movilidad de la ciudad, no produce contaminación, entre otras cosas.

6. RECOMENDACIONES

Como análisis general, al observar el camino recorrido en el desarrollo del producto, podemos visualizar el aprendizaje a lo largo de cada una de las etapas, de igual manera identificar puntos de apoyo para lograr un mejor prototipo final en una próxima ocasión.

Para una mayor autonomía de la bicicleta, se podría implementar un sistema de regeneración de energía cinética por medio del accionamiento del freno, mecanismo que logra generar energía y posteriormente almacenarla en la batería.

Para mayores prestaciones en la marcha, se recomienda la instalación de cambios en el eje pedalier, para que pase de 6 a 18 relaciones de marcha.

Para que la bicicleta eléctrica sea totalmente sostenible, se puede acoplar un sistema o kit fotovoltaico para que la admisión de carga eléctrica sea de manera ecológica; especialmente la Universidad Pontificia Bolivariana cuenta con estos tipos kits.

7. BIBLIOGRAFIA

[1] ASOCIACION ESPAÑOLA DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION. UNE EN 14764 Bicicletas de Paseo. Requisitos de Seguridad y Métodos de Ensayo. Versión español. Noviembre. 2006.

[2] HIBRIDOS Y ELECTRICOS. Go Cycle G2, Eléctricamente divertida. [En línea]. <<http://www.hibridosyelectricos.com/articulo/bicicletas-electrica/>>. [Citado en 5 de Diciembre de 2014].

[3] HIBRIDOS Y ELECTRICOS. Onda mini, la bicicleta eléctrica de OndaBike. [En línea]. <<http://www.hibridosyelectricos.com/articulo/bicicletas-electrica/.html>>. [Citado en 5 de Diciembre de 2014].

[4] HIBRIDOS Y ELECTRICOS. La DB0 de Robrady ya está en España, la bicicleta eléctrica con más éxito en Europa. [En línea]. <http://www.hibridosyelectricos.com/articulo/bicicletas-electrica/.html>>. [Citado en 5 de Diciembre de 2014].

[5] HIBRIDOS Y ELECTRICOS. i Pedelec, la bicicleta de BMW. [En línea]. <<http://www.hibridosyelectricos.com/articulo/bicicletas-electrica/i-pedelec-la-alternativa-de-bicicleta-electrica-de-bmw/20130503152427005632.html>>. [Citado en 5 de Diciembre de 2014].

[6] ENDESA. Movilidad Eléctrica – Una apuesta de futuro para el país. FORO DE MOVILIDAD 2011. Cartagena.

[7] VALENCIA DURAN, Edder Alexander. Transporte Eléctrico – Políticas y Casos Empresariales. FORO DE MOVILIDAD 2013. Santa fe de Bogotá.

[8] CODENSA. Flota eléctrica de CODENSA y EMGESA logró reducir las emisiones de Dióxido de Carbono en la ciudad. [En línea]. <<http://corporativo.codensa.com.co/ES/PRENSA/COMUNICADOS/Paginas/Flotael%C3%A9ctricadeCODENSAyEMGESAlogr%C3%B3reducirlasemisionesdeDi%C3%B3xidoCarbonoenlaciudad.aspx>>. [Citado en 5 de Diciembre de 2014].

[9] Richard G. Budynas and J. Keith Nisbett, Mcgraw – Hill, Diseño en ingeniería mecánica de shigley, Edition 8, 2008.

[10] Robert L. Mott, Pearson, Diseño de elementos de máquinas, Edición 4, 2006.

[11] International Organization for Standardization, ISO 5775, Bicycle tyres and rims -- Part 1: Tyre designations and dimensions, 2014.

ANEXO