

Universidad Internacional SEK

Facultad de Arquitectura e Ingeniería

Maestría en Diseño Mecánico

Mención Fabricación de Autopartes de Vehículo

Propuesta de diseño de la estructura de un cuadro de bicicleta impulsada por un motor eléctrico,
con un estudio y análisis que determine el material altamente adecuado existente en el país.

Andrés Alejandro Torres Brito

Nota del autor

Andrés Alejandro Torres Brito, Facultad de Arquitectura e Ingeniería

Universidad Internacional SEK

Directora Ing. Diana Peralta M.Sc.

Codirector Ing. Jaime Molina M.Sc.

Cualquier correspondencia concerniente a este trabajo puede dirigirse a:

atorres.mdm@uisek.edu.ec

CONTENIDO

Resumen	9
Abstract.....	10
Introducción.....	11
Antecedentes.....	11
Planteamiento del problema.	13
Justificación.	16
Estudio del Arte - Trabajos previos.....	19
Método.....	51
Tipo de estudio	51
Método.....	51
Principios de Diseño.....	53
Adaptabilidad	59
Peores condiciones a las que está expuesta la bicicleta.....	76
Modelado 3D.....	80
Análisis Estructural	86
Análisis Materiales	88
Análisis del modo y efecto de falla	96
Análisis y discusión de resultados.....	116
Bibliografía.....	129

Índice de Figuras

<i>Figura 1.</i> Fuente: Bicicleta nacional producida por BKR.....	19
<i>Figura 2.</i> Bicicleta nacional producida por Metaltronic.	20
<i>Figura 3.</i> City GTI Aro 26”	20
<i>Figura 4.</i> Sencilla GTI Aro 26”	21
<i>Figura 5.</i> Bicicleta impulsada con motor de combustión interna.	22
<i>Figura 6.</i> Modelo de Bicicleta eléctrica.	22
<i>Figura 7.</i> Modelo alternativo de Bicicleta eléctrica.....	23
<i>Figura 8.</i> Modelo prototipo bicicleta impulsión neumática.....	24
<i>Figura 9.</i> Modelo de bicicleta eléctrica acoplable.	25
<i>Figura 10</i> Bicicleta eléctrica perteneciente a BiciQuito	26
<i>Figura 11.</i> Bicicleta con optimización topológica	29
<i>Figura 12.</i> Dispositivo de ensayo montado en tubo de dirección	30
<i>Figura 13.</i> Simbología utilizad para las Dimensiones del cuadro de bicicleta	33
<i>Figura 14.</i> Cuadro Bicicleta Trek	34
<i>Figura 15.</i> Bicicleta Santaana Cima 27.5.....	35
<i>Figura 16.</i> Modelo Dash	36
<i>Figura 17.</i> Modelo convencional bicicleta eléctrica.	37
<i>Figura 18.</i> Análisis estructura juguete proyecto Optiparc.	42
<i>Figura 19.</i> Vigas con extremos empotradas – libre	44
<i>Figura 20.</i> Fuerzas aplicadas en el cuadro de una bicicleta.....	46
<i>Figura 21.</i> Análisis cuadro de bicicleta.....	48
<i>Figura 22.</i> Proceso de diseño del cuadro de bicicleta	53

<i>Figura 23.</i> Distancia de avance de la horquilla.....	54
<i>Figura 24.</i> Distancia de avance de la dirección	55
<i>Figura 25.</i> Angulo de la dirección	55
<i>Figura 26.</i> Dimensiones del cuadro reach y stack	56
<i>Figura 27.</i> Representación de la longitud de vainas	57
<i>Figura 28.</i> Angulo del tubo del sillín	58
<i>Figura 29.</i> Fuerzas en la bicicleta.	59
<i>Figura 30.</i> Medidas antropométricas	61
<i>Figura 31.</i> Posición del ciclista en la bicicleta.....	63
<i>Figura 32.</i> Batería para bicicleta eléctrica	64
<i>Figura 33.</i> Dimensiones batería	64
<i>Figura 34.</i> Bike Revo XP.....	66
<i>Figura 35.</i> XT Bike	67
<i>Figura 36.</i> Bike MT X.....	67
<i>Figura 37.</i> Bike Innovo XP.....	68
<i>Figura 38.</i> Bike UNI X	69
<i>Figura 39.</i> Grafica de Resultados Modelos.....	70
<i>Figura 40.</i> Dimensiones de rueda 26”	71
<i>Figura 41.</i> Pedalier	72
<i>Figura 42.</i> Dimensiones Pedalier	72
<i>Figura 43.</i> Manubrio curvo	74
<i>Figura 44.</i> Vista frontal modelado manubrio.....	74
<i>Figura 45.</i> Modelado 3D manubrio.....	75
<i>Figura 46.</i> Dimensiones Manubrio	75

<i>Figura 47.</i> Dimensiones base del cuadro de bicicleta.....	80
<i>Figura 48.</i> Programa Cura configuración de parámetros de impresión	82
<i>Figura 49.</i> Impresión 3D primer prototipo no funcional	82
<i>Figura 50.</i> Modelo 3D de primer prototipo.....	83
<i>Figura 51.</i> Modelo 3D cuadro bicicleta prototipo 2 vista lateral	84
<i>Figura 52.</i> Modelo 3D cuadro bicicleta vista superior.....	84
<i>Figura 53.</i> Modelo 3D cuadro bicicleta prototipo 2.....	85
<i>Figura 54.</i> Modelo CAD Cuadro bicicleta convencional	85
<i>Figura 55.</i> Mallado cuadro bicicleta prototipo 2.....	93
<i>Figura 56.</i> Primer resultado análisis de esfuerzo soporte batería y sillín prototipo 2.....	94
<i>Figura 57.</i> Modela 3D con modificación en prototipo 2.....	95
<i>Figura 58.</i> Segundo resultado análisis desplazamiento	95
<i>Figura 59.</i> Segundo resultado análisis desplazamiento	96
<i>Figura 60.</i> Cuadro AMEF	97
<i>Figura 61.</i> Ensamble cuadro de bicicleta	98
<i>Figura 62.</i> Modelo cuadro prototipo 3	99
<i>Figura 63.</i> Localización fuerza F1	101
<i>Figura 64.</i> Localización Fuerza F2	101
<i>Figura 65.</i> Condiciones de contorno para simulación dinámica.....	102
<i>Figura 66.</i> Resultados simulación dinámica prototipo 3.....	103
<i>Figura 67.</i> Fijación punto A.....	104
<i>Figura 68.</i> Fijación punto A.....	105
<i>Figura 69.</i> Resulta frecuencia modo 1.	106
<i>Figura 70.</i> Mallado con condiciones de contorno cuadro convencional.....	107

<i>Figura 71.</i> Geometría CAD generada con superficies.....	108
<i>Figura 72.</i> Resultado análisis estático cuadro convencional.....	108
<i>Figura 73.</i> Resultado análisis estático cuadro diseñado.....	109
<i>Figura 74.</i> Caja para batería.....	110
<i>Figura 75.</i> Soporte de batería modificado.....	110
<i>Figura 76.</i> Resultado simulación soporte de batería modificado.....	111
<i>Figura 77.</i> Resultado simulación soporte de batería modificado.....	111
<i>Figura 78.</i> Entorno de diseño para optimización con rigidez máxima.	112
<i>Figura 79.</i> Condiciones de contorno.....	113
<i>Figura 80.</i> Resultado optimización de rigidez máxima.....	113
<i>Figura 81.</i> Modelado de soporte modificado.....	114
<i>Figura 82.</i> Resultados de optimización vs modelado final.....	114
<i>Figura 83.</i> Modelo final soporte batería.....	115
<i>Figura 84.</i> Puntos críticos en prototipo 1 no funcional.....	117
<i>Figura 85.</i> Resultado análisis dinámico lineal en estructura de prototipo.....	121
<i>Figura 86.</i> Modelo final de cuadro de bicicleta validado con modelo humano.....	124

Índice de Tablas

Tabla 1	14
Tabla 2:	34
Tabla 3:	35
Tabla 4:	36
Tabla 5:	37
Tabla 6:	38
Tabla 7:	56
Tabla 8:	61
Tabla 9:	62
Tabla 10:	65
Tabla 11:	70
Tabla 12:	76
Tabla 13:	81
Tabla 14:	91
Tabla 15:	92
Tabla 16	100
Tabla 17	104
Tabla 18	106
Tabla 19:	117
Tabla 20	119
Tabla 21	122
Tabla 22	124
Tabla 23	125

Tabla 24:126

Resumen

El presente estudio se orienta en la realización de un cuadro de bicicleta mediante modelado 3D a través de software, tomando para ello factores de adaptabilidad con nuevos medios tecnológicos como componentes electrónicos específicamente un motor eléctrico y batería capaces de sustituir el accionamiento de los pedales para el giro de la rueda posterior en la bicicleta, proponiendo así un medio alternativo de transporte que facilite el traslado de un lugar a otro principalmente en ciudades con problemas de tráfico vehicular, pensando así también en la reducción de los agentes contaminantes mediante uso de tecnologías amigables con el medio ambiente. Sin embargo para poder realizar el diseño del cuadro se hace necesario conocer respecto a las dimensiones y condiciones actuales de los diferentes tipos de bicicletas y sus características tomadas como referencia para la ejecución del mismo. Mediante la utilización de nuevos medios tecnológicos que se introducen cada día más en la industria se realiza un estudio estructural que determine el comportamiento estructural con la finalidad de encontrar posibles mejoras, para así validar los resultados mediante uso de elementos finitos empleando con ayuda de programa computacional. Se termina el estudio con la discusión de los resultados y presentación de la propuesta.

Palabras clave: modelado 3D, diseño cuadro de bicicleta, análisis estructural, elementos finitos.

Abstract

The present study is oriented to the realization of a bicycle frame through 3D modeling through software, taking for it the factors of adaptation with new technological means and electronic components in particular, an electric motor and battery capable of replacing the pedal of the pedals for the rotation of the rear wheel on the bicycle, thus proposing an alternative means of transport that facilitates the transfer from one place to another mainly in the cities with vehicular traffic problems, also thinking about the reduction of the agents pollutants through the use of environmentally friendly technologies. However, to be able to perform the design of the table, you need to know the conditions and the current conditions of the types of bicycles and the characteristics that were taken as a reference for the execution of the same. Through the use of new technological means that are introduced more and more into the industry a structural study is carried out that determines the structural behavior in order to find possible changes, in order to validate the results through the use of finite elements with the help of programs computational. The study ends with the discussion of the results and presentation of the proposal.

Keywords: 3D modeling, bicycle frame design, structural analysis, finite elements

Introducción

Antecedentes.

Las bicicletas como medio versátil de transporte han evolucionado constantemente con el tiempo, ya sea mediante el uso de nuevos elementos tecnológicos o componentes que las convierten en elementos más eficientes, mediante lo cual se han posicionado como un medio de distracción para la mayoría de personas que utilizan la bicicleta como medio de transporte o con fines deportivos, localmente existen empresas nacionales dedicadas a la producción de bicicletas que en su mayoría importan los componentes para posteriormente ser ensambladas con marcas nacionales, este mercado se encuentra en crecimiento mientras se hace evidente los altos costos adquisitivos de las bicicletas deportivas importadas con marcas de renombre.

Sin embargo la introducción de nuevas herramientas adaptables a las bicicletas se ha visto minimizada debido a un entorno no muy explotado por falta de conocimiento o masificación. Es claro el ejemplo en el cual motores de combustión interna son acoplados a bicicletas de uso normal, así también los motores eléctricos son otro medio adaptable pero con cierto tipo de limitaciones en la selección del cuadro apropiado, siendo importante mencionar que no existe una empresa a nivel nacional dedicada a la fabricación de cuadros de bicicletas con características específicas para ser impulsados con motores eléctricos.

Por otra parte es extensa la industria de las bicicletas a nivel mundial y local, en cuanto existe un sin número de fabricantes que promocionan distintos modelos siendo estos de uso profesional o amateur, sin embargo los cuadros de las bicicletas también varían dependiendo de la finalidad de uso tanto en dimensiones como en características de diseño, actualmente la tendencia es emplear materiales ligeros que representan altos

costos adquisitivos, muchas de las veces involucra procesos de fabricación o materiales que no se encuentran en nuestro medio. Mientras que para la fabricación de bicicletas se hace uso de normas que rigen a nivel internacional y local como la norma NTE INEN-ISO 4210:2009 que corresponde a velocípedos requisitos de seguridad para bicicletas, mismas que son aplicadas para garantizar los más altos parámetros de calidad y seguridad en el producto final, mientras que tradicionalmente los cuadros en referencia a su geometría aún mantienen las formas triangulares convencionales con leves modificaciones.

En cuanto al diseño del cuadro de bicicleta que durante los últimos años ha cambiado en varios aspectos (Sanferbike, 2017), por lo que antes se pensaba que con cualquier tipo de bicicleta se podía realizarse todo tipo de ruta, mientras que en la actualidad son muchas las posibilidades de uso dependiendo de cada especialización, como referencia se tiene que hace unos 20 años se disputaban carreras de descenso con bicicletas rígidas, horquillas de suspensión de 50 mm de recorrido, frenos de zapata e incluso acoples en el manillar con una postura como la que llevamos hoy en día en bicicletas de Maratón. En vista de las nuevas tecnologías y varios de los cambios en el diseño de las bicicletas que buscan mejorar el rendimiento, calidad y uso de las bicicletas, todo ello con la finalidad de una mayor comodidad del ciclista. Dentro de los avances más innovadores que las marcas de bicicletas tratan de invertir más tiempo está el uso de nuevos materiales y modificaciones en la geometría de las bicicletas que representan el alma de esta, sin tomar en cuenta los componentes ya sean los más básicos o los tope de gama, si la geometría no es la correcta para el uso que tenemos pensado darle a nuestra bicicleta no aprovecharemos sus mejores posibilidades.

Algo muy notorio con relación al presente estudio es la introducción de la bicicleta eléctrica por parte del municipio de Quito que adquirió 300 unidades durante el año 2016, convirtiéndose en una alternativa de vialidad y transporte moderno del siglo XXI esto representa un gran aporte a la disminución de agentes contaminantes. Fuente El Comercio, Marzo del 2016.

Planteamiento del problema.

En la actualidad se vive en torno a varios aspectos que forman parte de la problemática social de hoy en día, esto se ve reflejado en la calidad de vida de la mayoría de ecuatorianos, dentro de lo cual se menciona el poco impulso que se da a la industria del diseño mecánico en el país, esto lleva a pensar que no se cuenta con un segmento propio por tal motivo este estudio pretende fomentar mediante uso de nuevas herramientas tecnológicas específicamente el uso de software basado en diseño con tendencias actuales la introducción de nuevos medios de producción que impulsen la industria local, tomando en cuenta que en su mayoría nos convertimos en potenciales consumidores de los productos importados, mientras tanto se pretende combatir los problemas de movilidad en las principales ciudades del país así como también los altos niveles de contaminación que afectan la calidad del aire en nuestro país, por tal razón se motiva la propuesta de diseño de un cuadro de bicicleta alternativo con la utilización de materiales disponibles en nuestro medio enfocado en la adaptabilidad para medios tecnológicos que faciliten su impulsión convirtiéndose en una alternativa como medio de transporte.

En base a lo anterior es importante considerar la siguiente información como evidencia de lo que ha sucedido durante los últimos dos años, en consideración de la norma ecuatoriana NECA, los principales agentes contaminantes son: partículas sedimentables, Pm 10, Pm 2.5, SO₂, CO, O₂, NO₂, Benceno, Cadmio, Mercurio

Inorgánico (vapores), tomando en cuenta que parte de estos contaminantes son generados por procesos incompletos de combustión cuyo responsable principal es el parque automotor que emite Pm 10, CO y NO₂.

De acuerdo al Informe de la calidad del aire de Quito 2015, estudio presentado durante el año 2016 por la Secretaria de Medio Ambiente del Municipio del Distrito Metropolitana de Quito, se puede observar varios parámetros descritos a continuación en los cuales se excede los límites permitidos. En la tabla 1 se muestra los resultados de monitoreo realizado respecto a PM10, mediante lo cual se determinó que en Carapungo se superó los límites de contaminación permitidos es decir más de 50 $\mu\text{g PM10} / \text{m}^3$.

Tabla 1

Promedios Anuales para material particulado PM10 en la ciudad de Quito

Pm 10	Norma	Belisario	Jipijapa	Los Chillos	Tababela	Carapungo	Guamani	Tumabaco
Annual	50	29	31.6	33.5	35.3	54.9	40.4	34.7
Percetil 98	100	61.8	45.6	54.9	58.5	93.7	78.4	62.9
Max Horario						732.7	1077.2	825.4
Max diario		120.2	121.9	108.9	113.4	162.7	161.5	80.8

Nota: Valores contaminantes de PM10 en el aire de Quito durante 2015.

Fuente: (Secretaria Ambiente, 2016).

Otro dato fundamental emitido en este informe señala que es evidente los efectos de las variaciones en la matriz de emisiones contaminantes esto debido a un incremento del parque vehicular, incremento del porcentaje de autos a diésel, mejoras en la calidad de los combustibles, emisiones de termoeléctricas, etc., menciona también que las condiciones meteorológicas observadas durante el año respecto al monóxido de carbono señalan que la tendencia de este contaminante durante estos diez años de monitoreo, ha mostrado una disminución constante a lo largo del tiempo. Sin embargo, durante 2015 se

ha iniciado un incremento significativo de este contaminante en todos los sectores monitoreados. Este incremento promedio es del 42 %.

Es relevante mencionar que según diario El Comercio (Sorgato, 2016), más del 80% de las personas que viven en zonas urbanas respiran un aire que puede causar infartos cerebrales o enfermedades respiratorias crónicas. Esta información destaca la organización mundial para la salud (OMS) después de haber reunido datos de 3000 ciudades. Aunque todas las regiones están afectadas, quienes más sufren este problema son las ciudades que viven en países en vías de desarrollo.

Los resultados del informe publicado en mayo del 2016 exponen que más de un cuarto de las ciudades en América Latina y el caribe duplican o triplican los límites que la entidad internacional establece como perjudiciales. De acuerdo a los análisis de la OMS, Santo Domingo, Milagro, Quito, Latacunga, Manta y Portoviejo sobrepasan los niveles internacionales de contaminación perjudiciales para la salud.

En base a la problemática social expuesta anteriormente es innegable que en la actualidad se tiene emisiones contaminantes que exceden los límites permitidos mientras que no se toma en cuenta otras ciudades de menor población en las cuales no existe control de los gestores responsables de contaminar el aire. Por tanto se considera importante poder desarrollar medios alternativos que faciliten la movilización de las personas con propuestas que sean amigables con el medio ambiente en términos de contaminación, es por esa razón que mediante el diseño de la estructura del cuadro de una bicicleta basado en características innovadoras y de movilidad, con vías a convertirse en una alternativa de transporte promoviendo el uso de materiales, tecnología y recursos humanos existentes en el país, se pueda proyectar con los medios adecuados con fines

productivos, en definitiva pensar en un futuro es preocuparse por las nuevas generaciones debido a los diferentes cambios climáticos y los altos índices de contaminación existentes.

Es claro que hoy en día existen diferentes tipos de bicicletas, cada una hace referencia a una aplicación con un fin específico, sin embargo en base a nuevas mejoras que se le están dando a la bicicleta en la actualidad y en vista de la necesidad de un medio recurrente a la hora de trasladarse de un lugar a otro, se considera importante poder realizar un cuadro de bicicleta con características específicas en función de adaptabilidad con nuevos medios tecnológicos como en este caso un motor eléctrico con sus diferentes componentes siendo necesario considerar varios parámetros en función de los nuevos elementos a incorporar, esto permite facilitar el pedaleo en zonas urbanas de uso frecuente, mencionando que dentro del diseño del cuadro existen otras variante a suponer como las velocidades de funcionamiento de la bicicleta eléctrica siendo mayores a la de una bicicleta de uso normal, ciertas modificación en la geometría, tipo de material y otros aspectos que faciliten el uso de este medio como alternativa de movilidad.

Justificación.

En la actualidad el transporte ha evolucionado y crecido constantemente, parte de este crecimiento involucra diversos tipos de inconvenientes que han surgido como: tráfico, contaminación ambiental y auditiva, etc. Esto se convierte en una realidad en las grandes ciudad como Quito, Guayaquil y Cuenca constituyendo un problema a la hora de movilizarse de un destino a otro, por lo tanto se pone en consideración nuevos medios de transporte que puedan solventar los problemas ocasionados.

Hoy en día en nuestro medio se están comercializando en menor cantidad varios tipos de bicicletas eléctricas, sus costos aproximados están entre 900 hasta 1800 dólares siendo alto su valor de adquisición, resulta complicado obtener un modelo en específico

más que una alternativa resulta una inversión elevada que si aporta como movilización, sin embargo los cuadros empleados en este tipo de bicicletas son convencionales que deben cumplir con pocos requerimientos, con formas no muy estéticas, en ocasiones no muy llamativas dirigidas a un público cada vez más exigente, por ende en el mercado local no existe un cuadro fabricado con diseño y características específicas, con el cual se pueda ensamblar una bicicleta eléctrica, por lo cual se consideró fomentar el presente estudio con vías de desarrollo que permita la producción y la factibilidad para consolidarse como una alternativa de bajo costo, capaz de solventar necesidades en la mayoría de personas que consideran la movilización como un gasto y a su vez un inconveniente se conoce la variante economía que se hace evidente cada día con un incremento en los altos costos de vida, surgen nuevas necesidades con distintos medios de ahorro que pueden ser significativos para la mayor parte de personas al momento de pensar en movilidad y en la reducción de gastos.

En referencia a lo anterior se pretende diseñar un nuevo cuadro de bicicleta que se acople a un motor eléctrico, convirtiéndose en una nueva opción de movilización de bajo costo, confiable y segura, empleando para su construcción los materiales más apropiados de acuerdo a estudio, existentes en nuestro país. Además si se considera también los altos índices de contaminación existentes en el medio debido a varios factores como industria, vehículos, buses etc., los mismos que preocupan en gran medida a la población, es fundamental sustentar la generación de un medio de transporte amigable con el medio ambiente que facilite el traslado y por ende genere cero emisiones contaminantes debido a la utilización de un motor eléctrico como medio de impulsión.

Es fundamental mencionar que los planes de movilidad en las diferentes ciudades, hacen evidente la constante congestión generada por los vehículos, en tal virtud la

bicicleta sigue siendo un medio de transporte cotidiano de poco uso debido también a condiciones geográficas de las ciudades pertenecientes a la región Sierra donde existen pendientes y caminos de tercer orden de difícil acceso, sin embargo se manifiesta que hoy en día la mayoría de personas utilizan la bicicleta con fines deportivos, esto ha generado que el mercado crezca considerablemente en los últimos años, pero con ello a encareciendo cada día más los costos de adquisición de cuadros y componentes que conforman la bicicleta, siendo estos en su gran mayoría provenientes del exterior. Por esta razón se considera una oportunidad poder realizar un diseño de un cuadro de bicicleta pensado básicamente en condiciones de versatilidad, confort y evolución al ser impulsado por un motor eléctrico que reemplaza el pedaleo y mejora el traslado en condiciones geográficas en las cuales la bicicleta es de poco uso.

El presente estudio representa una fuente de referencia que pretende revolucionar la industria local y permita la generación de nuevos medios alternativos que faciliten la movilidad. Adicional a esto que impulse la producción nacional mediante el uso de medios apropiados y necesarios que permitan definir los materiales adecuados para la utilización en un cuadro de bicicleta.

En conclusión es fácil imaginar cómo será el futuro pero es muy diferente poder hacer de ese futuro una realidad, considerando lo antes expuesto es fundamental pensar en la factibilidad de un diseño innovador pensado en solventar las necesidades de una población en general que cada día se envuelve más en el consumismo extranjero, y por ende fomentar la producción nacional, sin antes mencionar que la empresa Metaltronic fabrico un lote de 5.000 unidades de bicicletas con varios modelos durante todo el año 2016, entre las cuales se utilizó un 20% de producción nacional del total de componentes y un 40% de los cuadros en todos sus modelos producidos. Así también Base Extreme

localizada en la ciudad de Cuenca ensamble aproximadamente 70 unidades por mes durante el 2016, con todos sus componentes importados y con opciones para el cuadro de bicicleta en aluminio y carbono. Por último, la empresa BKR de Quito también realiza bicicletas en varios modelos con una opción económica que utiliza en el cuadro de bicicleta acero fabricado localmente con un 30% de producción nacional, mientras que los cuadros de aluminios son importados para modelos de mayor costo.

Estudio del Arte - Trabajos previos.

Generalidades

Las bicicletas como medio versátil de transporte han evolucionado constantemente mediante el tiempo, existiendo nuevos elementos tecnológicos o componentes logrando ser más eficientes, por tanto se convierten en un medio de distracción para la mayoría de personas, localmente existen empresas nacionales como BKR, Metaltronic entre otras dedicadas a la producción de bicicletas que en su mayoría importan sus elementos para poder ser ensambladas con marcas locales y parte de sus componentes nacionales, este mercado se encuentra en crecimiento, mientras se hace muy evidente los altos costos de las bicicletas deportivas. En la figura 1 se aprecia un modelo de bicicleta ensamblada localmente de la marca BKR comercializada en un punto de venta a nivel nacional.



Figura 1. Fuente: Bicicleta nacional producida por BKR
Fuente: (María Valarezo, 2014)

En la figura 2 se aprecia una línea de ensamble en la fábrica Metaltronic que produce este tipo de bicicletas con componentes extranjeros.



Figura 2. Bicicleta nacional producida por Metaltronic.
(Metaltronic, 2017)

La empresa ECUACYCLES en su catálogo 2016, hace referencia a los siguientes modelos de producción nacional fabricados en la ciudad de Cuenca, la figura 3 muestra el modelo de bicicleta City GTI Aro 26” cuyo cuadro y trinche es fabricado en acero de aleación especial que cuenta entre otras características con un asiento ergonómico. Otro modelo comercializado por la misma empresa se muestra en la figura 4 el modelo denominado Sencilla GTI Aro 26” cuenta con las mismas características y materiales que la mencionada anteriormente (Ecuacycles, 2016).



Figura 3. City GTI Aro 26”
Fuente: (Ecuacycles, 2016)



Figura 4. Sencilla GTI Aro 26”
Fuente: (Ecuacycles, 2016)

Sin embargo la introducción de nuevas herramientas adaptables a las bicicletas se ha visto minimizada debido a un entorno no muy explotado por falta de conocimiento o masificación. Es claro el ejemplo en el cual motores de combustión interna son acoplados a bicicletas de uso normal como se muestra en la figura 5, así también los motores eléctricos, en base a lo anterior no existe una empresa a nivel nacional dedicada a fabricar cuadros de bicicletas específicamente para ser impulsados con motores eléctricos, siendo posible modificar su estructura pensando en características innovadoras, de bajo costo y que represente una alternativa de transporte tomando en cuenta materiales existentes en el país.



Figura 5. Bicicleta impulsada con motor de combustión interna.
Fuente: Autor

Entorno a lo mencionado localmente se encuentran comercializando diferentes bicicletas eléctricas como los modelos de las figuras 6 y 7 respectivamente, su costo aproximado varía entre 900 y 1800 dólares dependiendo del diseño.



Figura 6. Modelo de Bicicleta eléctrica.
Fuente: (Electrobike, 2017)



Figura 7. Modelo alternativo de Bicicleta eléctrica
Fuente: (Electrobike, 2017)

Desarrollo tecnológico entorno a la bicicleta

Estudios realizados en Ecuador (Moreta, 2016), muestran la propuesta de diseño e implementación de un prototipo de bicicleta impulsado por un sistema de potencia neumático que funciona como sistema de apoyo al pedaleo que ayuda aumentar la autonomía de uso de una bicicleta convencional utilizando un motor neumático de 790 Watts suficiente para poder mover la bicicleta a una velocidad de 17.6 km/h con una autonomía de 567.6 m, el aire necesario para mover el motor proviene de un acumulador de alta presión 4 500 PSI. Todo sistema será controlado mediante electroválvulas y con ayuda de componentes electrónicos, en el mismo estudio se propone el diseño de un cuadro de bicicleta para ser adaptado con todos los elementos neumáticos y electrónicos como muestra la figura 8.



Figura 8. Modelo prototipo bicicleta impulsión neumática
Fuente: (Moreta, 2016)

Estudios preliminares plantean la realización del diseño de una bicicleta eléctrica con cuadro adaptable (figura 9) mediante uso de software Unigraphics (Poch & Blanco), donde se optó por un modelo de bicicleta eléctrica tipo pedelec, con la cual la asistencia en los trayectos se regula en el momento de pedalear a través de un sensor. La finalidad del estudio es que un mismo modelo de cuadro se adapte a varios usuarios, a los cuales les correspondería cuadros de diferentes tallas. Esto se consigue gracias a la regulación de las piezas (perfiles tubulares) que componen la bicicleta. La adaptabilidad del cuadro, altura de la bici y demás medidas, se enfocaron de tal manera que permita el uso de un mismo modelo para diferentes usuarios, se considera de gran impacto el uso de la bicicleta eléctrica en vista de razones como: cero consumo de recursos energéticos no renovables, eficiencia energética, cero emisiones de gases invernadero y emisiones de contaminantes atmosféricos, medio de transporte rápido, especialmente en zonas urbanas permite la realización de desplazamientos cortos, ya sea para pequeñas distancias, ir al lugar de trabajo o al centro de enseñanza en caso de los estudiantes, como parte final del estudio se efectuó un análisis de deformaciones provocadas por diferentes cargas a las cuales está

expuesto el cuadro, de esa manera se pretendió rediseñar aquellos elementos que así lo requieran. El estudio de las deformaciones en las diferentes piezas se realizó utilizando aluminio como material que compondrá el cuadro, se aplicó una fuerza de 1000N sobre las superficies deseadas para verificación de esfuerzos, de los resultados obtenidos el valor de tensión máxima de fluencia para el material 6061-T6 rondo los 276 MPa, con este resultado se comprobó mediante los valores de Von-Mises que mostro el programa informático se encuentran por debajo del máximo. En todos los casos se validó que los resultados se localizan por debajo de la zona de fluencia, siendo fiable el diseño realizado y la selección adecuada de los materiales a utilizar en este modelo de cuadro.



Figura 9. Diseño bicicleta eléctrica adaptable.
Fuente: (Poch & Blanco)

Benitez y Sánchez demuestran la posibilidad de fabricar un motor eléctrico del tipo brushed de corriente continua que funciona con un imán permanente en el estator y un electroimán en el rotor, que gira libremente en torno a un eje, que puede ser acoplado a una bicicleta este componente seria fabricado empleando materiales y tecnología existente en nuestro medio, con lo cual sería un medio probable a utilizar conjuntamente con el cuadro

en desarrollo, lo que nos permitiría explotar mejor nuestros propios recursos con vías de impulso, crecimiento tecnológico y recurso humano local.

Sin embargo en la actualidad el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito cuenta con 300 bicicletas eléctricas que forman parte del sistema de bicicleta publica BiciQuito que se encuentran distribuidas en 25 estaciones, fueron adquiridas en abril del 2016. Consiste en una bicicleta estándar equipada con componentes de una bicicleta manual, con la diferencia que el pedaleo es substituido por un motor eléctrico sin reemplazar totalmente la fuerza motriz humana, sin embargo no alcanza altas velocidades, simplemente es una bicicleta en la cual se facilita su uso y traslado. Entre sus características está un sistema de iluminación led, un sistema de rastreo satelital para impedir mal uso y un candado. Su batería puede durar hasta 12 horas, dependiendo de su uso y se recargan durante la noche. En la figura 8 se muestran varios modelos estándar de este tipo de bici eléctrica. (El Comercio, 2016).



Figura 10 Bicicleta eléctrica perteneciente a BiciQuito
Fuente: (Vicente Costales, 2016)

Mientras que durante los últimos años el mercado nacional de bicicletas se ha visto incrementado debido a la alta inversión que han realizado empresas locales que

encontraron una oportunidad en este nuevo mercado, considerando alrededor de un 50% aproximadamente de componentes nacionales, es decir que en torno a los nuevos medios productivos e impulso que se viene dando a la manufactura por parte del Estado, con ello se pretende expandir los nuevos conocimientos con altas expectativas en cuanto a los desarrollos tecnológicos que se han venido presentando en los últimos tiempos.

Materiales empleados en el cuadro de bicicleta

Es fundamental poder determinar el material más idóneo existente en el país, que pueda ser utilizado en el diseño de la estructura de un cuadro de bicicleta que va hacer impulsado por un motor eléctrico, para lo cual se hará uso de software especializado que permita realizar estudio mediante elementos finitos, con ello obtener mejores resultados en cuanto a la factibilidad y confiabilidad del diseño del cuadro, mencionado que la estética de las bicicletas durante los últimos años ha sido mantener un cuadro con formas triangulares básicamente, lo que ha evolucionado en torno a la mayor parte de bicicletas es la utilización de materiales ligeros y resistentes que han mejorado el desempeño de deportistas profesionales o amateurs, se considera fundamental poder desempeñar un estudio referente a los medios locales que permitan el desarrollo de cuadros de bicicletas con materiales, herramientas, tecnología y talento humano disponibles localmente.

Hoy en día se conoce respecto a los cuadros de bicicletas que utilizan fibra de carbono debido a las grandes ventajas que representan se convierten en la mejor alternativa para poder usar por su ligereza y alta resistencia, sin embargo considerando los altos costos de los mismos y el complejo proceso utilizado para su fabricación que desde luego no existe en nuestro país, no es recurrente para el presente análisis mediante el cual se procura poder utilizar materiales disponibles en el país como una alternativa,

como por ejemplo (Ponton & Guerrero, 2010) los materiales compuestos generados a partir del proceso de estratificación manual para obtener compuestos de matriz poliéster reforzados con fibra de abacá, dentro de este análisis se estudió la influencia de las variables descritas en las propiedades mecánicas de los diferentes materiales formulados, cuyas muestras fueron sometidas a ensayos de tracción y flexión, los resultados obtenidos mostraron que el compuesto unidireccional reforzado con una fracción volumétrica de fibra de abacá de 0.30 exhibió las mejores propiedades mecánicas, este tipo de materiales compuestos usan elementos que se encuentran en algunas ciudades de la Costa de Ecuador, esta materia prima que constituye un elemento natural y renovable será considerado en el desarrollo del diseño del cuadro para verificar su fiabilidad dentro de este proyecto.

Otro material a considerar dentro del diseño es el aluminio se constituye como el más utilizado actualmente en la mayoría de bicicletas, tiene buenas propiedades mecánicas para su aplicación en este campo, es más barato que el titanio, pero como principal razón de su uso se tiene que con el aluminio aleado se puede obtener mayor resistencia sin incrementar mucho el peso, también dependiendo del uso específico que se le dé se puede obtener mayor resistencia a la corrosión, el aluminio es el más ligero de todos los metales para uso estructural, a excepción del magnesio, entre las aplicaciones más frecuentes para uso en componentes de ciclismo están las aleaciones Al 6061 y 7005, pero debido a su difícil adquisición en nuestro medio es procedente emplear en el análisis de materiales aleaciones de aluminio existentes en el país.

La industria del ciclismo está introduciendo nuevas tecnologías en el desarrollo de productos este es el caso de Empire Cycles compañía dedicada al diseño y fabricación de bicicletas ubicada en el nor-oeste de Inglaterra, en esta empresa son apasionados por el

uso de la ingeniería para crear productos elite, ofrecen diseños innovadores para el mundo de las bicicletas de montaña y downhill, dentro de los avances tecnológicos y conocimientos actuales que utilizan se encuentra la optimización topológica mediante software que determina el lugar más lógico para el material a utilizar en la estructura de la bicicleta para lo cual normalmente usa iteraciones y análisis de elementos finitos. Con lo cual el material se remueve de áreas de bajo esfuerzo hasta lograr el diseño más óptimo que pueda soportar la carga necesaria, el modelo resultante es tan ligero (debido al bajo volumen) como fuerte, el desafío histórico más grande dentro en la producción de estas nuevas formas puede ahora ser superado con la fabricación aditiva, lo que permite realizar modelos físicos en 3D como prototipo mostrado en la figura 12 (Renishaw).



Figura 11. Bicicleta con optimización topológica
Fuente: (Renishaw)

Dentro del apartado (Georgetti, Ruch, & Fava, 2011), se realizó el desarrollo de ensayos no destructivos en cuadros de bicicleta tipo mountain bike construidos con tubos de aleación Al-7005 cuyo objetivo último es proponer una técnica para la inspección de cuadros de bicicletas de alta calidad, mediante uso del método de corrientes inducidas, esto emplea bobinas planas elaboradas específicamente que van montadas en soportes

especialmente diseñados, para la calibración se usó un tubo patrón con defectos artificiales, se realizó análisis en cuadros que habían sido descartados tras seis meses de uso (no se conoce la distancia recorrida) debido a la aparición de fisuras en el tubo de dirección. Primero se inició con el examen visual previo a la aplicación del método de corrientes inducidas, se observó que uno de los cuadros presentaba una fisura en el tubo de dirección en la zona donde calza la horquilla, en una región de cambio de diámetro. El otro presenta varias fisuras en la zona donde calza el tubo de dirección y en una región entre dos cordones de soldadura donde calza el sillín, en la primera zona, se observa un cambio de diámetro, una parte cónica y dos cordones de soldadura. Posteriormente se realizan las pruebas mediante uso de los sensores en el interior del tubo de dirección, se aplica diferentes frecuencias de 90; 100; 180 y 200 kHz, mediante lo cual se obtiene los diferentes defectos existentes.

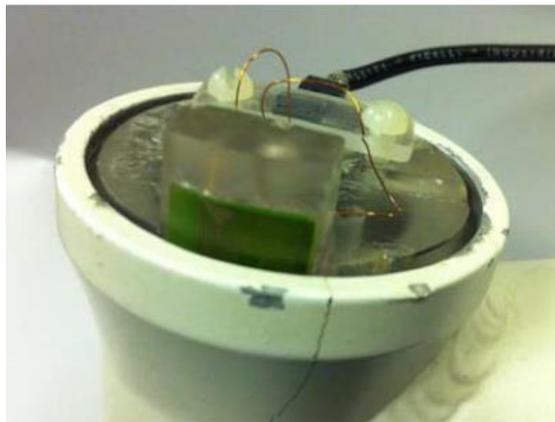


Figura 12. Dispositivo de ensayo montado en tubo de dirección
Fuente: (Georgetti, Ruch, & Fava, 2011)

La utilización de herramientas computacionales como el diseño asistido por computador CAD aportan con el modelado del cuadro, posibilitando realizar modificaciones antes de establecer la estructura física del cuadro, con ello se podrá lograr optimizar hasta llegar al diseño más confiable y seguro, es fundamental realizar un

análisis de los cuadros de bicicletas existentes, con la finalidad de buscar posibles mejoras.

Estructura y componentes de un cuadro de bicicleta

El cuadro de bicicleta componente principal que se ha considerado como la estructura sobre la cual se montan o acoplan todos los elementos que forman parte de la bicicleta, este tipo de elemento puede variar de tamaño, dimensión y características dependiendo del tipo de aplicación para lo cual fue diseñado, de acuerdo a la diversidad de marcas y productos en el mercado nacional cada fabricante conserva sus propias particularidades, sin embargo mantienen especificaciones que han evolucionado con el tiempo empezando con el uso de madera y ahora mediante la aparición de nuevos materiales como la fibra de carbono y cambios en la geometría del cuadro de la bicicleta que aportan con un mayor confort y mejor desempeño.

En vista del presente estudio es fundamental poder conocer las diferentes tipos de cuadros empleados en las bicicletas comercializadas a nivel nacional. Tomando en cuenta la diversidad geográfica, tipos de carreteras y aplicación de la bicicleta como medio de transporte o con fines deportivos, de manera general en nuestro país los cuadros de bicicleta se clasificaran de acuerdo al uso, por tanto podremos considerar tres tipos de cuadros de montaña, ruta y urbanos.

Con relación al cuadro de montaña este tipo de diseño que resulta ser el más vendido, su principal característica es poder brindar un mayor confort, desempeño y estabilidad en caminos o carreteras de segundo y tercer orden caracterizados por ser de superficie irregular, también en lugares en los cuales se dificulta el acceso a pendientes y descensos, bajo esas condiciones severas su diseño puede presentar diferentes

modificaciones, como por ejemplo los cuadros en este tipo de bicicletas están formados por tubos de mayor diámetro que los utilizados en cuadros de rutas.

Dentro de la bicicleta de montaña podemos encontrar básicamente dos clasificaciones, la primera de ellas basada en el tipo de suspensión siendo rígida (suspensión delantera) o doble (suspensión delantera y trasera) y la segunda basándose en el uso o modalidad de bicicleta de montaña, esta segunda clasificación es más detallada debido a la cantidad de modelos disponibles en el mercado y más concretamente para las diferentes modalidades que hay dentro del ciclismo (Romeo, 2010).

Cuadro de ruta este tipo de cuadro se define por ser el más ligero tomando en consideración el cuadro y llantas que utiliza, debido a sus características de desempeño posee un cuadro que en general es rígido, se utiliza con fines deportivos para quienes practican el ciclismo profesional o amateur, debido a que se utiliza en carreteras pavimentadas no tiene componentes en la suspensión. En virtud de las exigencias que genera este tipo de bicicleta presenta una variante en el manubrio haciendo que la posición del ciclista cambie respecto a los otros tipos de bicicletas.

Sin embargo (Pita, 2017), manifiesta que este tipo de bicicletas utilizan cuadros que son fabricados en aluminio, que posee un solo tipo de rueda estandarizado conocido como Rin 700, en cuanto al diseño del cuadro por lo general al referirse a sus dimensiones es más corto.

Mientras que un Cuadro urbano se utiliza como un medio de transporte alternativo dentro de nuestro medio, debido a sus bajos costos se puede considerar como las bicicletas más baratas dependiendo de sus características y componentes su precio puede variar, sin embargo se caracteriza por mantener las formas triangulares empleadas en el diseño del cuadro.

En cuanto a las dimensiones en la actualidad la mayor parte de las bicicletas deportivas se comercializan de acuerdo a tallas estandarizadas según cada tipo de fabricante pueden ser S - M - L, medidas que dependen de la altura tomada desde el piso de una superficie plana hasta la entrepierna y distancia del antebrazo, de acuerdo a esas medidas se realiza la elección más adecuada, estas medidas varían dependiendo en algunos casos del fabricante o del tipo de uso y diseño que tiene la bicicleta, sin embargo durante el presente estudio se tomara varias bicicletas nacionales e importadas existentes en nuestro medio y se medirá el cuadro con fines comparativos en busca de la mejor optimización posible que aporten con el diseño del cuadro de bicicleta tomando en cuenta características específicas para ser utilizada con un medio de impulsión eléctrico.

Para poder realizar la medición de los diferentes tipos de cuadros es necesario definir las distancias a tomar en cuenta durante las mediciones para llevarlas de manera generalizada como muestra la figura 13.

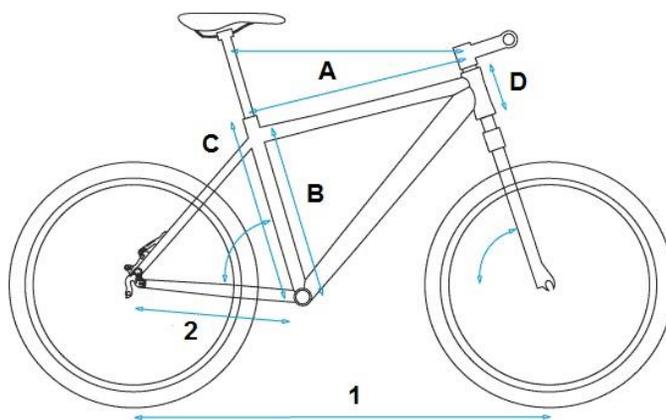


Figura 13. Simbología utilizada para las Dimensiones del cuadro de bicicleta

En la tabla 2 se representa las partes que conforman el cuadro de la bicicleta, estos parámetros serán tomados en referencia a números y letras para referirse a cada uno de ellos.

Tabla 2:

Simbología de los componentes del cuadro de una bicicleta

Distancia	Letra / Numero
Tubo Horizontal	A
Tubo vertical	B
Tubo del asiento	C
Tirante trasero	2
Rueda a rueda	1
Tubo manubrio	D

Nota: Símbolos aplicados de manera general para identificar las diferentes partes del cuadro de bicicleta.

Fuente: Autor

Bicicleta Trek Modelo 4300 Alpha figura 14, para uso en montaña, con geometría adaptable, suspensión delantera y ligera. Cuadro de aluminio. Importada.



Figura 14. Cuadro Bicicleta Trek

Fuente: Autor

Tabla 3:

Dimensiones cuadro Trek

Descripción	Dimensión (cm.)
D	12
A	56
B	50
C	44
2	43
1	108

Fuente: Autor

Santaana Cima 27.5 bicicleta ensamblada en la ciudad de Cuenca figura 15, con componentes importados. Diseño sumamente ligero con cuadro de carbono, cuenta con suspensión delantera, uso de montaña. Modificación en cuadro llanta posterior con doblez en la esquina inferior. Con un valor de venta al público de 4900.00 usd.

*Figura 15. Bicicleta Santaana Cima 27.5*

Fuente: Autor

Tabla 4:

Dimensiones cuadro Santaana

Descripción	Dimensión (cm.)
D	10.50
A	54
B	40
C	35
2	43
1	105

Fuente: Autor

También es fundamental poder mencionar los tipos de modelos de bicicletas eléctricas comercializados en el país con sus principales características, para lo cual se tomara el modelo Dash de la empresa Electrobike figura 16, que funciona en Ecuador como una franquicia originada en México en el año 2012 en la mayoría de sus modelos el motor eléctrico se encuentra acoplado a la rueda trasera y es alimentado por una batería de ion litio, y otro modelo convencional de bicicleta eléctrica comercializada por internet.



Figura 16. Modelo Dash
Fuente: (ElectroBike)

Tabla 5:

Especificaciones bicicleta eléctrica modelo Dash

Motor	250 W
Peso	21 Kg
Autonomía	20 – 40 km
Peso máximo	100 Kg
Autonomía asistida	35 – 70 km
Costo (usd)	1108.80

Fuente: Autor

El cuadro empleado es del tipo urbano fabricado en aluminio figura 17, entre sus principales características se puede observar que incorpora un protector de cadena, control electrónico en el volante, pequeño faro delantero, cables de los componentes se encuentran en el exterior, soporte de carga en la rueda posterior y mandos electrónicos debajo del sillín, en cuanto al diseño de la bicicleta cuenta con retroceso del sillín con un avance de la horquilla delantera de 2.5 a 3 cm.

*Figura 17. Modelo convencional bicicleta eléctrica.*

Fuente: Autor

Tabla 6:

Especificaciones bicicleta eléctrica modelo convencional.

Motor	250 W
Peso	25 Kg
Autonomía	20 – 35 km
Peso máximo	100 Kg
Autonomía asistida	35 – 60 km
Costo (usd)	1000.00

Nota: Datos obtenidos del manual de la bicicleta eléctrica

Fuente: Autor

Este modelo usa un cuadro normal de bicicleta fabricado en acero se puede apreciar las siguientes características: no implementa accesorios, controles electrónicos en el volante, batería visible acoplada al cuadro, mandos electrónicos debajo del sillín, motor eléctrico en rueda posterior, cables de componentes electrónicos en el exterior, en cuanto al diseño avance de la horquilla delantera 2.5 cm, sillín en retroceso presenta ciertas modificaciones en la instalación del motor eléctrico para acoplamiento en la horquilla, componentes electrónicos expuestos a la rueda exterior en caso de lluvia.

En referencia a lo antes expuesto se tiene que uno de los principales inconvenientes de este tipo de bicicletas son los altos costos de adquisición no es un segmento para la mayor parte de personas que requieren solventar su necesidad de transportación, en cuanto al primer diseño se tiene que debido a su procedencia forma parte de un mercado mejor desarrollado sin embargo con el presente estudio se pretende mejorar la geometría del cuadro en función de un mejor costo, mientras que en el segundo diseño analizado se tiene problemas de adaptación con varios de los componentes, con lo

cual se mejoraría las características del cuadro para una mejor adaptabilidad en función de diseño, consumo energía, componentes y movilidad.

Diseño cuadro bicicleta

Una herramienta importante dentro del diseño mecánico en general es contar con CAD (diseño asistido por computador), la posibilidad de realizar piezas con dimensiones reales en 3d permite al diseñador realizar cambios preliminares durante el proceso de diseño, así como también facilitan la comprobación de estos mediante la realización de simulación (herramientas CAE) en el entorno y en las condiciones reales de trabajo de esta forma es posible mejorar y evitar posibles fallas a considerar, por tanto la simulación es un proceso que forma parte del diseño de un modelo que a su vez es sometido a experimentación en condiciones reales, donde se estudia su comportamiento o se evalúa diversas condiciones críticas para su funcionamiento con lo cual se pretende llegar a tomar decisiones importantes en el modelo final, mediante la observación y análisis detallado de los resultados se permite tener mejoras durante el proceso de diseño, permitiendo la reducción de tiempos y evitando la realización de modelos prematuros con posibles fallas consecuentes.

De acuerdo con Siemens CAE: “es el uso de software computacional para simular desempeño y así poder hacer mejoras a los diseños de productos o bien apoyar a la resolución de problemas de ingeniería para una amplia gama de industrias. Esto incluye la simulación, validación y optimización de productos, procesos y herramientas de manufactura”. A partir de estas técnicas se obtiene un proceso eficiente, dinámico y depurado para crear prototipos de productos y someterlos a diversas pruebas. Esto

garantiza la disminución de errores, y mejora sustancialmente la productividad y competitividad en la industria (Siemens, 2013).

Sin embargo el diseño es una actividad que se proyecta hacia la solución de problemas planteados por el ser humano en su adaptación al medio que lo rodea, para la satisfacción de sus necesidades, para lo cual utiliza recursos como la tecnología CAD/CAE/CAM. Estas tecnologías se vienen aplicando a través de los métodos de la ingeniería concurrente. La técnica más desarrollada en la ingeniería asistida por computador (CAE), es la aplicación de los análisis por elementos finitos (FEA), que con la mejora de los equipos de cómputo se ha convertido en técnicas accesibles para todos los usuarios. Estas técnicas son usadas industrialmente desde el diseño hasta la fabricación consiguiendo optimizar costos, calidad, tiempo, seguridad, etc. (Rojas Lazo & Rojas Rojas).

De acuerdo al estudio que logra la integración de las herramientas computacionales CAD/CAE/CAM con la generación de prototipos rápidos, de forma tal de lograr piezas y moldes de inyección en menor tiempo, costo y de buena calidad. Siendo el caso de estudio un estuche optimizado de disco compacto (CD) utilizado en el mercado disquero. La metodología utilizada fue el desarrollo de productos utilizando como base programas de computación para diseño, simulación y manufactura por computadora para piezas. Se modeló el estuche de CD empleando un programa modelador de sólidos en tres dimensiones y se estudió el proceso de inyección de la pieza mediante un programa simulador. Para proponer los cambios que se pueden realizar en el empaque se utilizaron los resultados obtenidos mediante los programas. Los cambios propuestos fueron a nivel de diseño del producto, diseño del molde, selección de parámetros de la máquina de inyección y selección de la resina. Se logró, debido a la integración de las herramientas

computacionales con la generación de prototipos, la disminución de altos esfuerzos y líneas de soldadura existentes en las zonas críticas de la pieza, manteniendo uniforme el llenado y la distribución de temperaturas en las cavidades. En este trabajo se desarrollaron las etapas de la ingeniería concurrente para lograr una pieza optimizada combinando el diseño y la manufactura con la investigación de mercado, la simulación del proceso, el análisis de esfuerzos por elementos finitos y el uso de equipos de laboratorio para lograr la realización de un producto y sus respectivos moldes dimensionados en menor tiempo y empleando menos recursos (Candal).

Mientras que estudios realizados en el Instituto Aiju de España mencionan que existe cierta incertidumbre cuando un diseño pasa a la fase de fabricación, ya que no se puede asegurar que las características elegidas del diseño (como material y forma) son las adecuadas para el producto final. Con mayor frecuencia de la deseada se producen roturas de partes del juguete por no haber estudiado las partes más débiles de las piezas y haber definido las condiciones de contorno que afectan a cada pieza en su utilización por el niño. Esta situación crea una mala imagen a la empresa, puesto que el juguete no cumple con las expectativas del niño como usuario final. Ante este hecho, las empresas aplican un sobredimensionado general de las piezas, que se traduce en un excesivo empleo de materiales, que crea problemas adicionales en el proceso de fabricación y en definitiva pérdida de dinero por no optimizar el diseño de sus productos. Dado que los juguetes en los que más relevancia se da este hecho son los denominados juguetes de actividad para uso doméstico de interior y exterior, se ha desarrollado este proyecto para abordar esta problemática proponiendo el uso de herramientas avanzadas de simulación CAE que permitan optimizar los diseños y adecuar el diseño a las expectativas mediante herramientas que permitan verificar la ergonomía, evitando sobredimensionados de

espesores, proponiendo mejoras en la fabricación, optimizando el diseño para cada tipología de material a emplear, mejorando de esta forma la calidad de los productos, la adecuación y durabilidad, y posibilitando la mejora del producto final desde la etapa del diseño. Todo ello se aplica sobre el 3D antes de pasarlo a la fase de producción (Instituto Tecnológico de producto infantil y ocio , 2009).

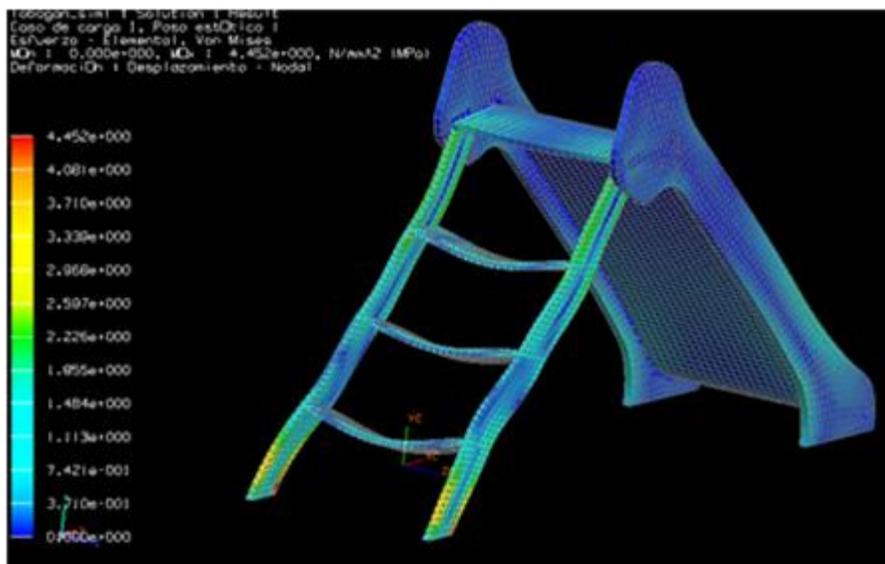


Figura 18. Análisis estructura juguete proyecto Optiparc.
Fuente: (Instituto Tecnológico de producto infantil y ocio , 2009)

Por lo tanto la ingeniería asistida por computador CAE, supone un paso más en los sistemas CAD tradicionales, debido a que además del diseño del modelo, también permite integrar otro tipo de propiedades, como condiciones a las que está sometido, materiales, etc. De tal manera que las herramientas CAE existentes permiten calcular cómo va a comportarse la pieza o la estructura en la realidad, en condiciones tan diversas como: deformaciones, resistencia, características térmicas, vibraciones, etc. Para ello se hace necesario transitar la geometría creada en un entorno CAD al sistema CAE.

En referencia al tema en estudio, con base en los principios mencionados anteriormente es fundamental definir que para el análisis del cuadro se empleara el

método de elementos finitos, este se basa en la idea clave de discretizar el dominio de la solución en una cantidad de dominios simples llamados elementos, que posteriormente se asume como una solución aproximada sobre cada elemento en términos de las soluciones en puntos seleccionados, llamados nodos, este método se aplica a muchos problemas, en los cuales se requiere encontrar una solución aproximada para los desplazamientos, las deformaciones, las tensiones, las fuerzas, y otras variables en un cuerpo sólido que está sujeto a cargas que varían respecto al tiempo, se considera como cargas a una serie de eventos para los cuales se busca una respuesta. La solución exacta de estos problemas requiere que se mantenga el equilibrio de fuerza y momento durante todo el tiempo sobre cualquier volumen arbitrario del cuerpo. Este estudio plantea el análisis estático cuando los efectos de la inercia son bajos y se pueden despreciar, las cargas actuantes tienen una variación lenta respecto al mayor período natural de vibración de la estructura. En esta situación las sollicitaciones totales se fraccionan a lo largo de un tiempo general que se toma simplemente como referencia y no tiene sentido físico, para lo cual se basa en modelos de situaciones físicas simples para los cuales se dispone de soluciones analíticas, con el fin de contrastar los resultados logrados mediante la utilización del método de elementos finitos, se puede emplear el estudio de la situación conocida de la viga con extremos: empotrada-libre, que se muestra en la Figura , con dos casos de cargas, concentrada en el extremo libre y distribuida sobre toda la longitud, indicadas en (a) y (b) respectivamente. Para poder analizar la situación física planteada, se requiere contar con los distintos parámetros que participan del modelo es decir las dimensiones geométricas, las magnitudes de cargas y las propiedades del material a utilizar.

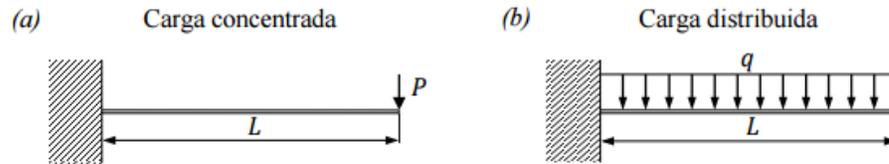


Figura 19. Vigas con extremos empotradas – libre
Fuente: (Cortassa, 2015)

Los cuadros de bicicleta son capaces de soportar los esfuerzos que se presenten al manejar la bicicleta (Alvarez), esto quiere decir que los tubos deben estar correctamente dimensionados. Es posible utilizar materiales muy resistentes lo cual redonda en tubos con espesores de pared pequeños y por consiguiente un cuadro ligero o materiales menos resistentes con lo cual los diámetros y espesores serán mayores obteniendo una bicicleta más robusta y pesada. Sin embargo existe una serie de propiedades de los materiales que determinarán la elección de uno u otro para la fabricación de cuadros de bicicleta. Las propiedades más importantes se definen a continuación:

Densidad: peso del material para un determinado volumen. El objetivo primordial en la fabricación de cuadros es la mayor ligereza final sin comprometer la rigidez del conjunto.

Rigidez: la medición de la rigidez viene determinada básicamente por su módulo de Young o módulo de elasticidad. Cuanto mayor sea la rigidez estructural del cuadro mayor será el rendimiento y efectividad en la transmisión de fuerzas desde que se inicia en el pedaleo hasta las ruedas ya que se malgastara menos potencia efectiva en flexiones y torsiones del cuadro.

Alargamiento o elongación: mide con que magnitud se deformará el material antes de la rotura. Es una medida de la ductilidad del material. Para el caso de las bicicletas se necesitan materiales con capacidad para la deformación, que se doble antes de la rotura.

Sería inadecuado que un cuadro de bicicleta sufra un impacto y ocasionara una fractura frágil como la de un vidrio.

Resistencia a la tracción: medida que determinará la resistencia límite que podrá soportar el cuadro. Por lo general, las bicicletas no suelen fallar por que sufran cargas muy elevadas pero la resistencia a tracción resulta un indicador del comportamiento del material. Las pruebas de tracción aplicadas a los materiales sirven para definir propiedades como la ductilidad, fuerza, rigidez y los parámetros adecuados para el tratamiento térmico.

Resistencia a la fatiga: la fatiga de los materiales se produce para la repetición cíclica de cargas de un valor inferior a la resistencia mecánica del material. Esto puede ser un símil de prueba dado a las cargas alternas que imitan las vibraciones e impactos de la bicicleta circulando por las irregularidades del terreno.

Tenacidad: habilidad de un metal para absorber la energía y deformar plásticamente antes de la fractura. Un metal duro es más dúctil y se deforma en lugar de la fractura de manera frágil. Puesto que un requisito muy importante de los tubos de la bicicleta es su capacidad de deformar y dar aviso de la inminente rotura, la dureza es una propiedad importante a medir.

Soldabilidad: dado que los tubos del cuadro de bicicleta están unidos entre si necesitamos para ello material cuanto más fáciles de soldar mejor tratando de conseguir uniones sólidas y duraderas. No todos los metales son adecuados para la soldadura y no todos los metales de relleno combinan bien con materiales de base aceptables.

Mientras tanto un criterio dentro de los cálculos es poder establecer las fuerzas que intervienen en el equilibrio estático se han supuesto una serie de parámetros que facilitan el análisis, las masas de la bicicleta y del ciclista están concentradas en sus respectivos

centros de gravedad, la superficie de rodadura es completamente lisa sin baches o imperfecciones por lo que no se producirán por tanto impactos asociados a bruscas aceleraciones que influirían notablemente en el valor de las reacciones máximas aumentándolo y modificando las distribución de tensiones. Existe una primera etapa de recorrido de las fuerzas en la bicicleta que se inicia en el punto de contacto de la rueda delantera con el pavimento y concluye en el buje que le permite girar. El itinerario de fuerzas, tensiones y deformaciones recorre la cubierta, utiliza el aire a presión para alcanzar la llanta, fluye por los radios de las ruedas hasta llegar al buje. La siguiente etapa de transferencia de fuerzas aparece en la horquilla y la potencia y concluye en el contacto de las manos del ciclista con el manillar y en la bifurcación señalada por los rodamientos de dirección. Las diferentes fuerzas aplicadas en un cuadro de bicicleta se muestran en la figura 20.

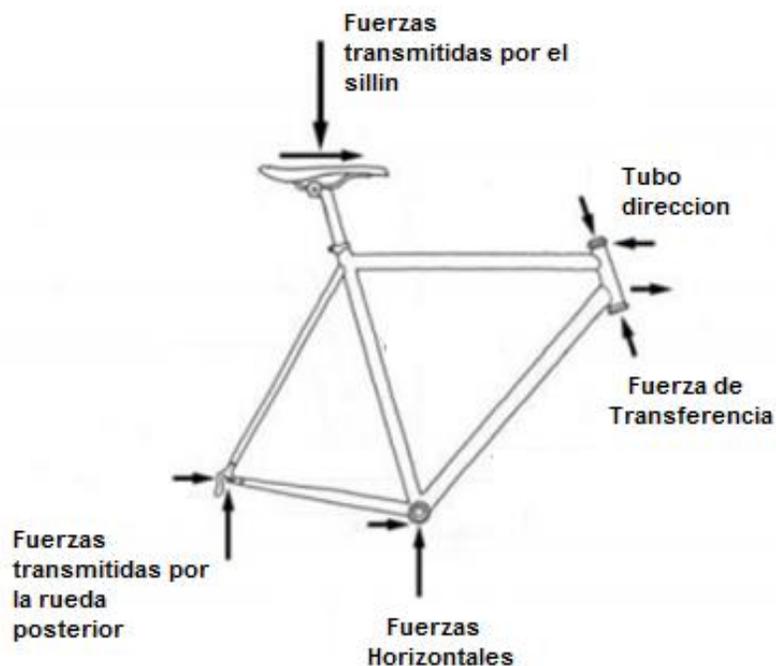


Figura 20. Fuerzas aplicadas en el cuadro de una bicicleta

Los tubos que comprenden los cuadros de bicicleta suelen tener diámetros comprendidos entre 15 y 45 mm con espesores de entre 0,5 a 2 mm, este elemento estructural junto con la horquilla son los más importantes ya que definen las prestaciones mecánicas de la bicicleta. Sin considerar las fuerzas transversales, fuerzas perpendiculares al plano, por tanto las fuerzas que actúan en el cuadro de la bicicleta son las siguientes: las aplicadas por el ciclista en el sillín y a través de los pedales, en el eje del pedalier, las transferidas por la rueda trasera a las punteras posteriores, las transmitidas por los dos rodamientos a la barra de dirección originadas por las reacciones de apoyo de apoyo a la rueda delantera y las fuerzas aplicadas al manillar.

Otros análisis (Cristopher, Hanna, Messenger, & Travis, 2015), muestran que:

El cuadro de bicicleta se puede analizar respecto 14 tensiones localizadas en diferentes puntos figura 21, se comprobó el diseño mediante un estudio dinámico utilizando el hecho de que la velocidad vertical de las bicicletas debe ser cero cuando se alcanza la altura máxima y mediante cálculos se determinó una velocidad de impacto de aproximadamente 4,4 m/s, en el cual se consideró saltos de tamaño moderado principalmente con aterrizaje de neumáticos traseros y saltos más grandes con aterrizaje de neumáticos delanteros, como resultando las tensiones más altas se encontraron en N cuando se experimentó saltos más grandes principalmente con el aterrizaje del neumático delantero. Estas tensiones encontradas fueron aproximadamente de 400 MPa. Mientras que para la realización del estudio de elementos finitos se empezó con la realización de la malla en un modelo realizado en el programa SolidWorks que posteriormente se convirtió en un archivo STEP y luego se importó en el software Abaqus, luego se asignaron las propiedades del material seleccionado Al 6061-T6, utilizando una masa de 4,52 kg (razonable para un marco de aluminio hueco). A continuación, se creó una sección para el

material que se formó como un ensamblaje, la malla se generó utilizando los siguientes parámetros: automático, cuadrático, tetraédrico, y un tamaño global de 0,005. Se consideró parámetros como el de un conductor que ejerce una fuerza media de 235 N en el asiento, 330 N en los tiradores y 373 N en la conexión del eje del pedal. Estos serán modelados como cargas de presión porque están simulando cargas de contacto. Con el fin de restringir adecuadamente el sistema, las conexiones al eje de la rueda trasera y al poste delantero se fijarán para todas las traducciones.

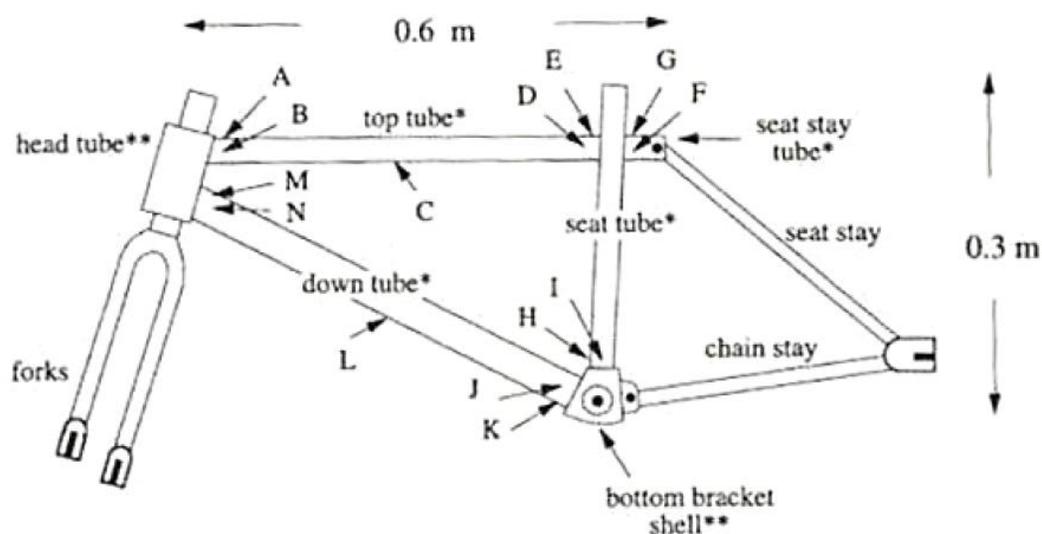


Figura 21. Análisis cuadro de bicicleta.
Fuente: (Christopher, Hanna, Messenger, & Travis, 2015)

Aunque el análisis estático es útil para obtener valores de referencia, una bicicleta no es obviamente una máquina estática. Por lo tanto, se llevó a cabo un análisis dinámico para evaluar la respuesta del marco inducida por el impacto en el suelo después de un salto de 1 metro. Utilizando el hecho de que la velocidad vertical de las bicicletas debe ser cero cuando se alcanza la altura máxima, empleando una velocidad de impacto calculada de aproximadamente 4,4 m/s.

Dentro de las consideración para la validación del cuadro hay que considerar que una bicicleta es una estructura ligera que soporta un peso mucho mayor al de su estructura. Los componentes y el marco están sujetos a las excitaciones de fuerza variables en el tiempo impuestas por el ciclista y por las diferentes condiciones de carretera. Por tanto su comportamiento dinámico se convierte en un tema importante, debido a que está directamente relacionado con la vida útil de la bicicleta, la maniobrabilidad y la eficiencia. Son muy pocos los estudios que le dan importancia a este punto, no es sorprendente que el acoplamiento entre una bicicleta y un piloto modifica por completo el comportamiento dinámico de una bicicleta. Para tener una buena idea del comportamiento dinámico de una estructura de bicicleta, el análisis modal experimental se puede utilizar al considerar diferentes condiciones de operación con o sin ciclista, de manera que se permiten fuerzas de entrada, frecuencias naturales, amortiguación modal y formas modales a escala. Es posible la realización de análisis dinámico usando una o varias configuraciones (Champoux, Richard, & Drouet, 2007).

Otra herramienta a utilizar dentro del diseño del cuadro es la metodología del Análisis del Modo y Efecto de Fallas, conocido también con las siglas AMEF, método realizado en Estados Unidos a finales de la década del 40, que fue desarrollada por los militares y tuvo su gran aplicación por la NASA aplicándolo en el diseño y producción de sus transbordadores espaciales, básicamente consiste en que los inventores y expertos del proceso tratan de anticiparse a lo que puede estar mal en un diseño o un proceso antes de que el mismo sea desarrollado. Este tipo de metodología AMEF se creó con el propósito de evaluar la confiabilidad de los equipos, así como evaluar e identificar fallas en productos, procesos y sistemas, clasificar de manera objetiva sus efectos y causas para de esta forma evitar su ocurrencia y tener un método documentado de prevención. Por lo

anterior el AMEF puede ser considerado como un método analítico estandarizado para detectar y eliminar problemas de forma sistemática. Aunque el método del AMEF generalmente ha sido utilizado por las industrias automotrices, éste es aplicable para la detección y bloqueo de las causas de fallas potenciales en productos y procesos de cualquier clase de empresa, y así como también es aplicable para sistemas administrativos y de servicios (Galeano, 2017). En base a este método estandarizado se pretende utilizar esta herramienta fundamentalmente en el diseño del cuadro de bicicleta durante el proceso de ensamble con otros componentes esto nos permite reducir los posibles riesgos, así poder evitar fallas prematuras aumentando la fiabilidad del componente en estudio.

Por ultimo sería fundamental hablar respecto a ergonomía como parte del análisis del cuadro de bicicleta, Saez menciona que se debe buscar la postura más adecuada para andar en bicicleta debido al trabajo que realizan los músculos y su buena distribución o equilibrio en las fuerzas que se aplican, es decir al andar en bicicleta se ocupa la mayor parte del cuerpo para poder avanzar sea el uso de los pedales mediante la fuerza ejercida por los pies o por la fuerza que se aplica en el manubrio al frenar en menor medida. Todo el trabajo que realizamos mediante uso de los músculos debe ser equilibrado.

El concejo de la Asociación Internacional de ergonomía (IEA, 2017), acuerda una definición adoptada como oficial en la cual se manifiesta que la ergonomía es la disciplina científica que trata de las interacciones entre los seres humanos y otros elementos de un sistema, así como la profesión que aplica teoría, principios, datos y métodos al diseño con objeto de optimizar el bienestar del ser humano y el resultado global del sistema.

Método

Tipo de estudio

Se realizara el cuadro de la bicicleta mediante uso de los diferentes tipos de investigación existentes en busca de encontrar parámetros establecidos o condiciones de diseño, pero fundamentalmente para el presente análisis se ha considerado como parte del estudio la investigación experimental debido a que los cuadros de bicicletas y sus componentes han evolucionado con el tiempo en torno a nuevos modelos o tendencias que mejoran las condiciones de manejo de los ciclistas, mediante lo cual se procura encontrar las óptimas condiciones para el diseño del cuadro a realizar, por otro lado se cuenta con la aplicación de investigación de campo entorno a elementos ya existentes de los cuales se pueden obtener condiciones de desempeño, pero se deberá tomar en cuenta que dentro de los parámetros del presente estudio la propuesta se enfoca a añadir elementos a la bicicleta que permitan facilitar su uso como medio de transporte.

Otra técnica dentro del estudio a considerar es el método de observación que se utilizará en la investigación para suponer los aspectos mediante los cuales puede mejorarse un cuadro de bicicleta convencional, mediante esta metodología se podrá recopilar información fundamental en base a las características primordiales de un cuadro de bicicleta, de acuerdo a estas consideraciones en el presente análisis será fundamental para consignar estándares en las dimensiones de los cuadros de bicicleta.

Método

El presente diseño del cuadro de bicicleta surge a través de la concepción de nuevas formas mediante las cuales se pretende llegar al usuario pensando en las posibles facilidades que pueden existir, para lo cual se toma lo convencional como idea fundamental se pretende concebir una idea general más abstracta con nuevas formas y

geometrías posibles, haciendo uso del diseño de comportamiento basado en la experiencia conociendo que las bicicletas representan un elemento trascendental a lo largo del tiempo, se toma características iniciales de funcionalidad, desempeño y utilidad práctica. La idea de generar un nuevo modelo nace de la concepción de reemplazar lo convencional cumpliendo con el mismo propósito, se establecen varios modelos alternativos manteniendo la misma perspectiva.

El cuadro de bicicleta a ser propuesto en este estudio está enfocado en cumplir ciertas condiciones preliminares que involucran innovación, viabilidad, factibilidad y adaptabilidad, todo ello pensando fundamentalmente en la utilización de medios tecnológicos de actualidad específicamente un motor eléctrico con todos sus elementos que permitan impulsar las ruedas de la bicicleta, con lo cual se busca mejorar la movilidad dentro de zonas urbanas facilitando la impulsión y fomentando el uso de este medio como alternativa recurrente a la hora de trasladarse de un lugar a otro. Por tanto para empezar con el diseño del cuadro de bicicleta es importante poder definir todos los principios iniciales a utilizar en esta primera etapa, dentro de los cuales se tomara en cuenta las dimensiones más adecuadas para el cuadro, la carga a la cual va a estar expuesto este componente considerando los dispositivos electrónicos a utilizar, tipo de batería y parámetros relevantes que pueden aportar con el desarrollo del presente apartado considerado como un pre diseño. Posteriormente se ejecuta la fase de adaptabilidad esto involucra todos los elementos mediante los cuales se va hacer uso del cuadro como un componente que llevara incorporado la batería del sistema de propulsión eléctrico, así también se considerara los parámetros de ergonomía que aporten con un mayor confort en la conducción de la bicicleta, las posibles geometrías en el cuadro mediante el uso del diseño conceptual, ensamble con otros componentes y se definirá el tipo de batería a

utilizar con sus dimensiones. Por último se realizara un análisis tomado a partir de las peores condiciones a las cuales va a estar expuesto el cuadro de bicicleta, características que nos permitirán mejorar el diseño preliminar en buscar de las mejores condiciones para el cuadro de bicicleta. Como herramienta de forma general se hará uso del diseño concurrente mediante lo cual se procura llegar a las mejores condiciones del cuadro de bicicleta contando con parámetros de calidad mediante uso de procesos o herramientas paralelas al proceso de diseño como se muestra en la figura 22.

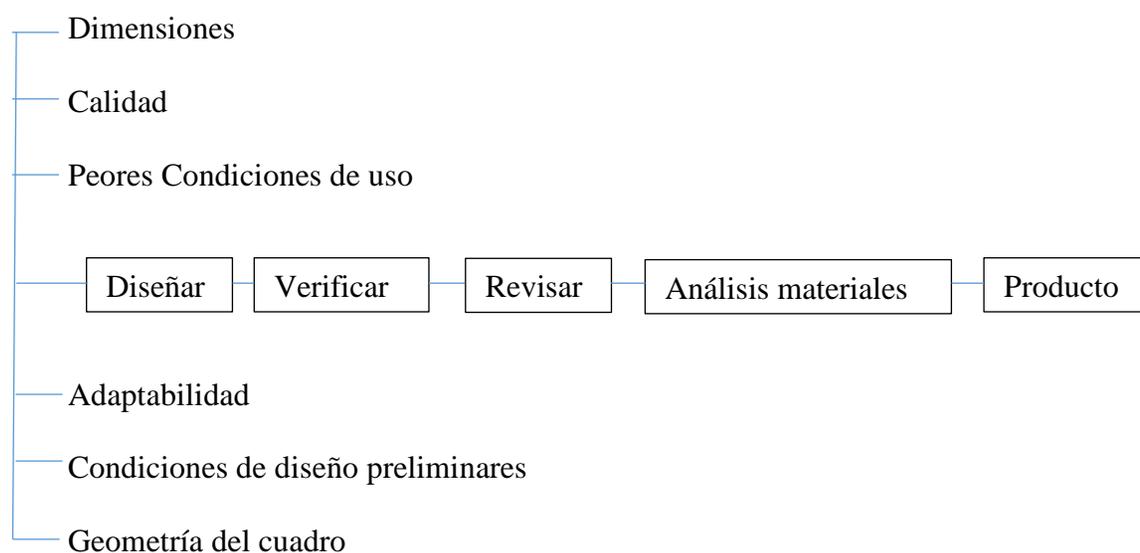


Figura 22. Proceso de diseño del cuadro de bicicleta
Fuente: Autor

Principios de Diseño

Dimensiones

De manera general en este apartado se definirá las dimensiones más importantes a utilizar dentro del diseño del cuadro de bicicleta, se empezara con la relación primordial que debe existir entre las distancias de la dirección y rueda delantera, con esto se pretende llegar a conocer dos medidas empleadas en el diseño de cuadros el avance de la horquilla y la dirección (*trail*). Estos datos son fundamentales para la estabilidad de la bicicleta en

curvas o rectas con lo cual se busca el valor más adecuado para el análisis del diseño a realizar.

Siendo el avance de la horquilla (offset) básicamente la distancia o desplazamiento existente entre el eje de la rueda y la distancia proyectada desde el centro del tubo de dirección, es decir la distancia que relaciona el giro de la rueda con el giro de la dirección. La figura 23 representa el avance de la horquilla siendo la línea roja la proyección imaginaria del centro del tubo con respecto a la línea azul que sería el centro de la rueda como puede apreciar.

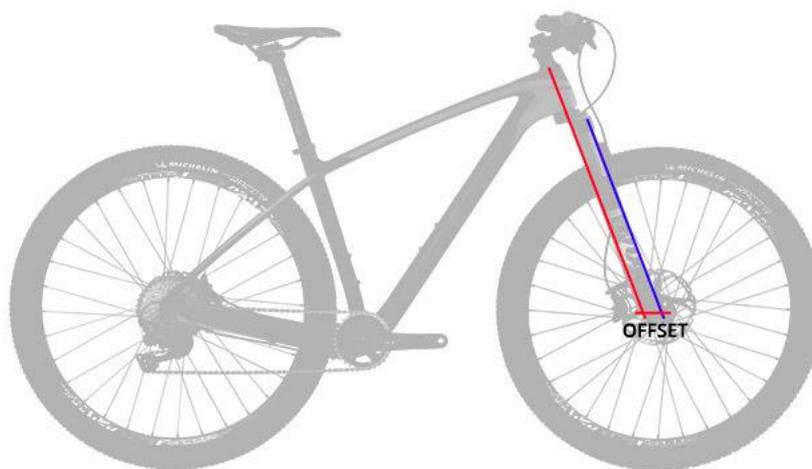


Figura 23. Distancia de avance de la horquilla
Fuente: (Todomountainbike, 2016)

En tanto el avance de la dirección (trail) que representa la distancia existente entre la línea imaginaria desde el centro del tubo de dirección y la línea horizontal desde el centro de la rueda, en el punto donde topa con el suelo, por lo tanto se puede decir que es la distancia desde el punto que se apoya la rueda en el suelo respecto el centro del tubo de dirección figura 24.

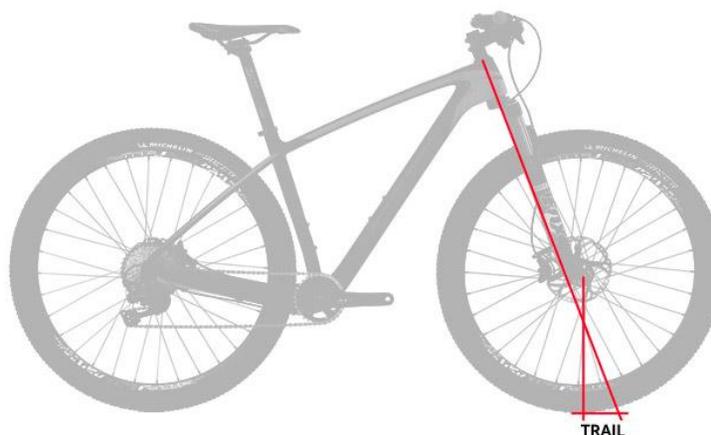


Figura 24. Distancia de avance de la dirección
Fuente: (Todomountainbike, 2016)

Otra medida fundamental es el ángulo de la dirección formado entre la proyección del centro de la dirección y el suelo como muestra la figura 25. Mientras más pequeño sea el ángulo de la dirección el *trail* será mayor, y si por el contrario se tiene mayor ángulo el *trail* disminuirá. En general, un mayor *trail* es sinónimo de una mayor estabilidad de la bicicleta en velocidades altas y una mejor capacidad de auto alineación de la rueda, mientras que un *trail* menor mejora la manejabilidad y rapidez de respuesta de la dirección a velocidades relativamente bajas.

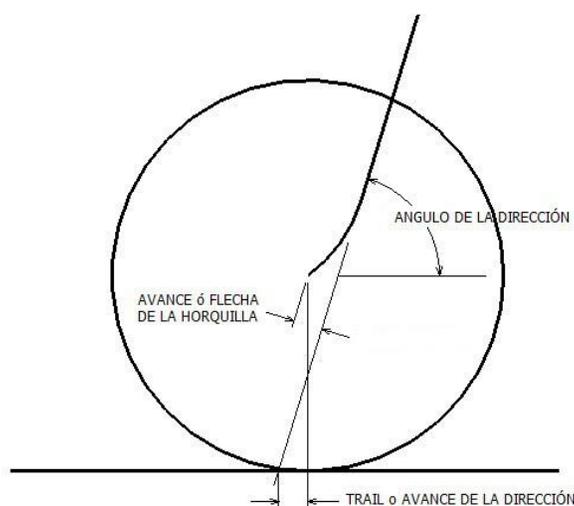


Figura 25. Ángulo de la dirección
Fuente: (Todomountainbike, 2016)

En base a consideraciones de diseño y en vista de que estas distancias antes mencionadas dependen de la aplicación de la bicicleta es necesario de acuerdo al caso establecerlas con los siguientes valores según la tabla 7.

Tabla 7:

Dimensiones para el cuadro de bicicleta

Angulo de dirección	70°
Avance de la horquilla	25 mm
Avance de la dirección	93.5 mm

Nota: Medidas pre establecidas para el diseño del cuadro de bicicleta
Fuente: Autor

Continuando con las dimensiones otro elemento a considerar es el *stack* que representa la distancia vertical entre el centro del manillar de dirección y el centro del eje del pedalier, así también el *reach* longitud existente entre los dos componentes antes mencionados, ambas medidas como muestra la figura 26 determinan altura y alcance del cuadro, respectivamente para ello se tienen en cuenta las angulaciones del tubo superior del cuadro y la longitud del manillar de dirección.

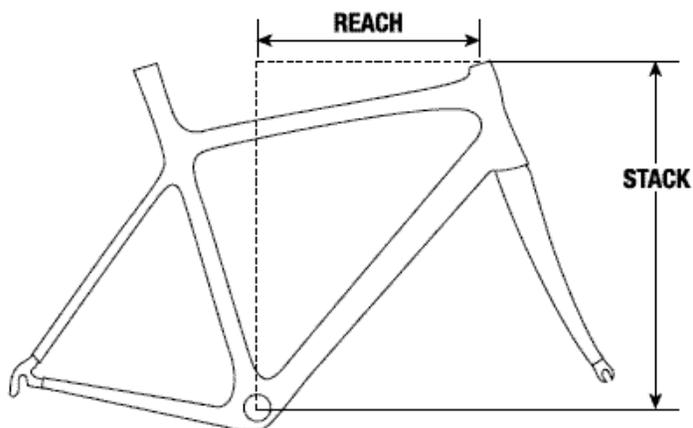


Figura 26. Dimensiones del cuadro reach y stack
Fuente: (Todomountainbike, 2016)

Dentro de las dimensiones también está la longitud entre el centro del pedalier y el centro de la rueda posterior afectando directamente su comportamiento en la parte posterior. Como norma general, una longitud corta hace que la rueda trasera reciba una mayor carga de peso mejorando la tracción de la misma, además de permitir una mejor transmisión de la fuerza ejercida en el pedaleo, mientras que más largas favorece a una mayor comodidad, haciendo la bicicleta más estable a velocidades altas debido a una mayor distancia entre ejes de rueda. En la actualidad, la tendencia de la gran mayoría de modelos del mercado independientemente de la modalidad a la que van destinados es la de hacer uso de vainas lo más cortas posibles figura 27, para este caso se utilizara una distancia de 42 cm.



Figura 27. Representación de la longitud de vainas
Fuente: (Todomountainbike, 2016)

Por último se tiene que en la actualidad el ángulo del tubo del sillín se sitúa en torno a los 70° - 74° para la gran mayoría de modelos, independientemente de la modalidad de destino de la bicicleta. El ángulo del tubo del sillín viene marcado por la posición del centro del eje del pedalier, pudiendo encontrar un mismo ángulo de sillín tanto en modelos de montaña como en modelos de descenso al tratarse de geometrías

completamente diferentes. Para este caso de diseño el avance y retroceso del sillín deberá estar en la línea paralela al suelo retrasado tomando una distancia de 2 cm del eje de los pedales con un ángulo de 70° en función de los ángulos de la figura 28, con lo cual se evita tomar medidas incorrectas que puedan generar problemas con la parte anterior de la rodilla.



Figura 28. Angulo del tubo del sillín
Fuente: (Todomountainbike, 2016)

Carga

Al ser el cuadro un elemento proyectado para uso cotidiano estará sometido a cargas puntuales hacer analizadas posteriormente, con lo cual se pone en consideración la norma UNE-EN 14766:2006, que en algunos de sus apartados establece un peso del ciclista de 80 kg, este valor será utilizado dentro de todos los estudios referentes al análisis estructural del cuadro de bicicleta, siendo indispensable también tener en cuenta el peso de la batería hacer acoplada al cuadro que en este caso será de 3.5 kg,

Otro punto fundamental es poder entender las fuerzas que provocan el movimiento, para ello se plantea el equilibrio de fuerzas de un ciclista, tal como se observa en la Figura 29, sobre lo cual se traza un diagrama de cuerpo libre, para poder

comprender de dónde vienen y cómo se transmiten las fuerzas que mantienen el equilibrio y en este caso producen el movimiento.

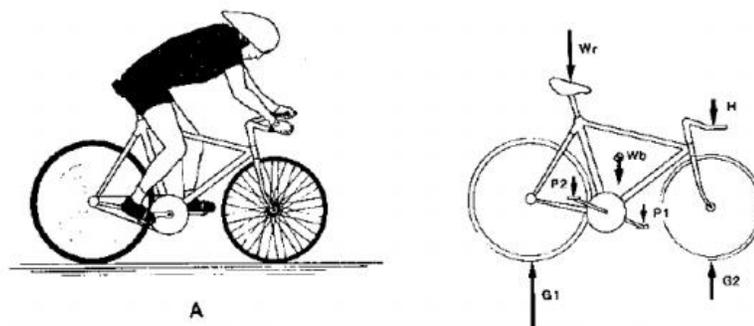


Figura 29. Fuerzas en la bicicleta.
Fuente: (Gese, 2013)

Dentro de las fuerzas del equilibrio se tiene en primer lugar que las fuerzas en el diagrama aparecen como vectores, con su correspondiente módulo, dirección, sentido y punto de aplicación, siendo el caso de las fuerzas G_1 y G_2 aplicadas sobre las ruedas trasera y delantera respectivamente, estas sirven para equilibrar el conjunto de fuerzas formadas por el peso distribuido en los distintos apoyos y las de accionamiento de los pedales. De ser el caso estas son posibles de medir solamente con aparatos colocados en el pedal, considerando que el ciclista está en equilibrio estático, las fuerzas verticales se compensarán y no habrá fuerzas horizontales puesto que en este caso no existe movimiento de avance del ciclista.

Adaptabilidad

Continuando con el desarrollo del cuadro de bicicleta es primordial mencionar las características de adaptación que se debe considerar para un manejo de la bicicleta de forma que no represente un riesgo en las condiciones físicas y mecánicas al momento de estar en bicicleta, con lo cual se pretende buscar las mejores circunstancias de ergonomía dentro de este aspecto.

En referencia a lo declarado por (Igor & Juan), manifiestan que:

Las medidas de la bicicleta que afectan al ajuste de las piernas durante el pedaleo son: la altura, el retroceso y el ángulo del tubo del sillín. Cuando colocamos una mayor altura del sillín, el hecho de que el ángulo del tubo del sillín no sea de 90° en las bicicletas (normalmente será de 73 a 75°), provocará que también aumente el retroceso. De la misma forma, un mayor retroceso del sillín implica haber aumentado la altura del mismo, esto provocará un aumento de la distancia desde el lugar donde se sienta el ciclista hasta el eje de pedaleo.

Debido a la cantidad de tiempo que el ciclista pasa sobre la bicicleta es importante evitar posiciones forzadas, que desde un punto de vista anatómico, provoquen la aparición de sobrecargas por un exceso de tensión o presiones determinadas en partes corporales, y que pueden dar lugar a la aparición de molestias físicas, e incluso lesiones de diferente consideración, por ende el sillín en el punto más alto de recorrido del pedal, el ángulo descrito entre el eje longitudinal del fémur, tibia y peroné debe ser aproximadamente 80° grados, así también en el punto más bajo de recorrido del pedal, el mismo ángulo será aproximadamente $155^\circ - 160^\circ$. Esto se puede comprobar mediante el retroceso del sillín asegurándose que cuando la biela se encuentre en posición totalmente horizontal, la proyección vertical de la rótula no supere el eje del pedal.

También es de importancia hablar del manillar, la posición del ciclista radica principalmente en la altura y la distancia a la que se coloque este respecto el sillín en este caso la distancia y la altura entre sillín y manillar ira condicionada por la longitud del tronco y los brazos del ciclista.

Por consiguiente la estructura y función del cuerpo humano ocupa un lugar vital dentro del diseño de sistemas hombre objeto entorno, aunque este aspecto se ha visto

frecuentemente relegado por diseñadores, sin embargo para este análisis se tomara como medidas base las fomentadas en un estudio de campo e investigación (Avila , Prado, & Gonzales), donde se han realizado análisis dirigidos a la obtención de datos antropométricos de una muestra de población latinoamericana, cuya utilización coadyuva al incremento en la eficiencia, seguridad y comodidad, en las actividades humanas y en este caso en particular para el diseño de la estructura del cuadro de bicicleta.

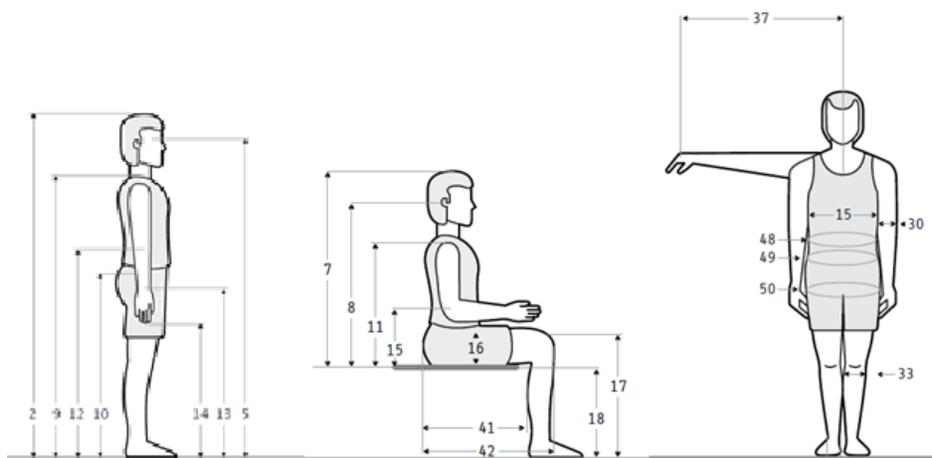


Figura 30. Medidas antropométricas
Fuente: (Avila , Prado, & Gonzales)

Tabla 8:

Dimensiones promedio del cuerpo en latinoamericanos

Dimensiones		
2	Estatura	169
17	Altura rodilla	52.60
37	Largo brazo	77
14	Altura pierna	81.9

Nota: Medidas a utilizar dentro de la ergonomía como parte del diseño
Fuente: Autor

Dentro de las medidas antropométricas que forman parte esencial en torno a lo que representa la maniobrabilidad y la adaptación del ciclista a la bicicleta se tomaran las

citadas en la tabla 8 antes descrita, siendo las más importantes dentro de todas las referencias en el estudio anterior, tomando como ejemplo la distancia que representa la altura de la pierna que será fundamental durante la selección de la altura correspondiente al sillín.

En base a varias normas internacionales en particular la UNE-EN 1005-4, misma que menciona la seguridad de las máquinas, comportamiento físico del ser humano, en su apartado evaluación de las posturas y movimientos en relación con las máquinas. Donde se menciona que para la evaluación de las extremidades inferiores y otras zonas del cuerpo, dependiendo de cada tipo de postura (dinámica o estática) se tienen en cuenta diferentes articulaciones o partes del cuerpo. Este procedimiento de evaluación de posturas de otras partes del cuerpo consiste en dos pasos, en el primero se debe identificar si la postura y el movimiento se acercan al rango límite establecido, siendo así se debe determinar la frecuencia para obtener el nivel de riesgo. Las posturas consideradas en este apartado se encuentran en la tabla 9.

Tabla 9:

Posturas con los límites del rango articular

Postura	Límites del rango articular
Flexión rodilla en pie	135°
Flexión rodilla sentado	40°
Dorsiflexion del tobillo	20°
Flexión plantar del tobillo	50°
Rotación externa del hombro	90°
Flexión de codo	150°
Extensión de codo	10°
Flexión / extensión muñeca	90°
Desviación radial	20°

Otro punto primordial dentro de este análisis es considerar que el manejo de la bicicleta de forma regular será dentro de zonas urbanas, siendo lo más recomendable que el ciclista adopte la posición de la figura 31 con lo cual el volante estaría a una distancia más corta del sillín, en razón de tener menor esfuerzo físico durante la pedaleada y en base a la posición que el ciclista va adoptar durante la conducción de la bicicleta tenemos como resultado que al estar el brazo y la mano trazando una línea recta con lo cual la muñeca no este inclinada, representara la posición más cómoda para la mano, haciendo que en esta posición el nervio cubital y el nervio medio se alinean, con esto se minimiza cualquier dolor contribuyendo con un mayor confort.



Figura 31. Posición del ciclista en la bicicleta.

Batería

En vista de las condiciones de mejora basadas en nueva tecnología son varios los componentes que intervienen dentro de las denominadas bicicletas eléctricas, en este caso nos referimos a la batería parte fundamental debido a que corresponde al elemento de mayor peso de todos los componentes eléctricos, por lo tanto se utilizara una batería de

ion litio de 36 voltios con una capacidad nominal de 14 Ah de la marca Panasonic en vista de su versatilidad y menor peso.



Figura 32. Batería para bicicleta eléctrica

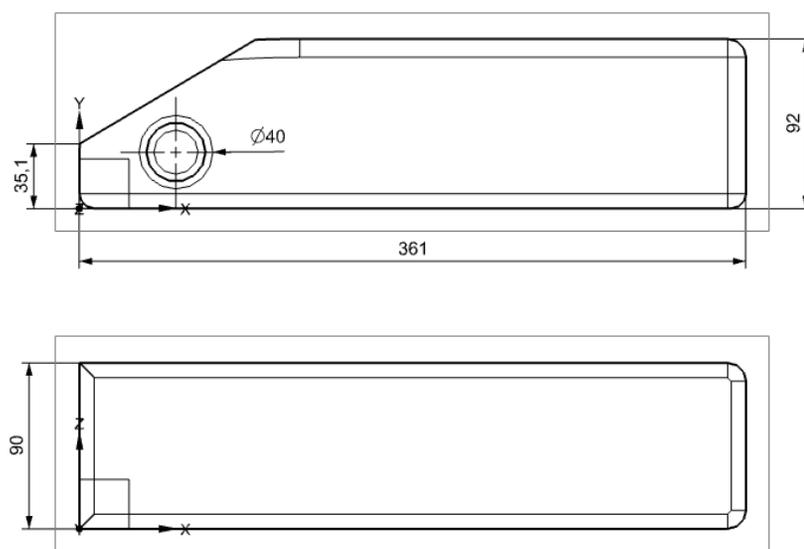


Figura 33. Dimensiones batería
Fuente: Autor

Tabla 10:

Dimensiones de la batería

Dimensión	Medida (mm)
Ancho	90
Alto	92
Largo	361

Fuente: Autor

Geometría

Luego de revisar las características primordiales en relación al diseño del cuadro y para continuar es fundamental empezar con el diseño 2d mediante la realización de bosquejos que nos permitan relacionar ideas no convencionales y transformarlas con nuevas geometrías en el cuadro es lo que se presente en este apartado con lo que se busca plasmar ideas relevantes que con el transcurso del diseño pueden mejorarse en el modelado 3D, para lo cual se tomara en cuenta las siguientes consideraciones:

Debe ser un cuadro más amigable en función de su uso, tomando en cuenta el peso de los componentes electrónicos tiene que ser lo más ligero posible.

Poder hacer uso de herramientas y elementos tecnológicos que faciliten la cotidianidad, movilidad y seguridad, siendo un cuadro de bicicleta para uso en zonas urbanas, rurales y caminos con pendientes pronunciadas.

Se tomara como medidas base las existentes en bicicletas dispuestas al mismo fin, siendo necesario mejorar ciertas características en torno a la aplicación que brinda.

Debido a que la mayor parte del tiempo la persona que va a estar en la bicicleta eléctrica no va a pedalear, por funcionalidad suponer lo más adecuados para la posición del asiento con respecto a la rueda delantera.

La velocidad promedio de las bicicletas eléctricas impulsadas por motor varía entre unos 35 a 25 km/h, por tal razón el ángulo de inclinación de la dirección deberá ser considerado.

En base a lo mencionado anteriormente se realizaron los siguientes diseños preliminares a nivel de bocetaje para el cuadro de bicicleta como se muestra en las siguientes figuras, posteriormente se realizara una comparación que permita seleccionar el diseño que cumpla con las mejores prestaciones acorde a los consideraciones realizadas, de ser el caso se seleccionara dos modelos que permitan un mejor desarrollo del tema.

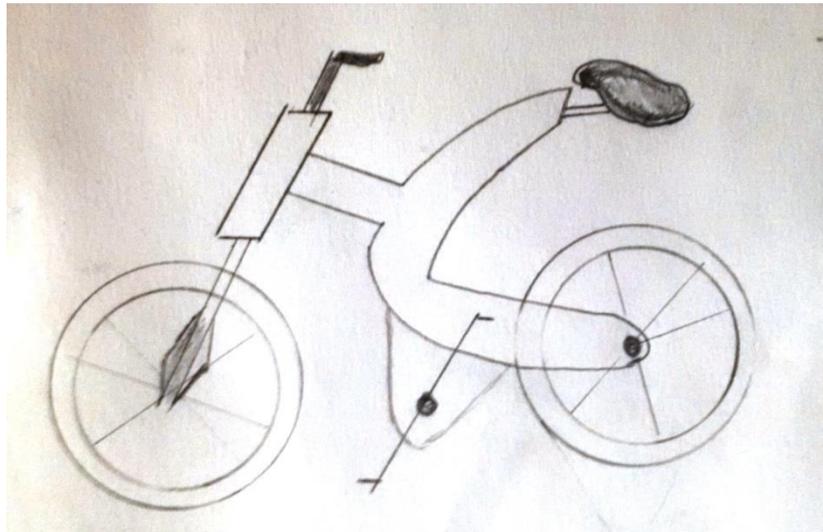


Figura 34. Bike Revo XP
Fuente: Autor

Bosquejo uno denominado bike revo xp presenta un diseño no acorde a las tendencias actuales, la posición del asiento permite estar más cerca al volante, sin embargo las condiciones de peso en el asiento harían más probable para el uso de un material altamente resistente debido a la curvatura del cuadro propenso a fallar en la mitad del mismo, respecto a la batería sería ubicada en la parte inferior del asiento.

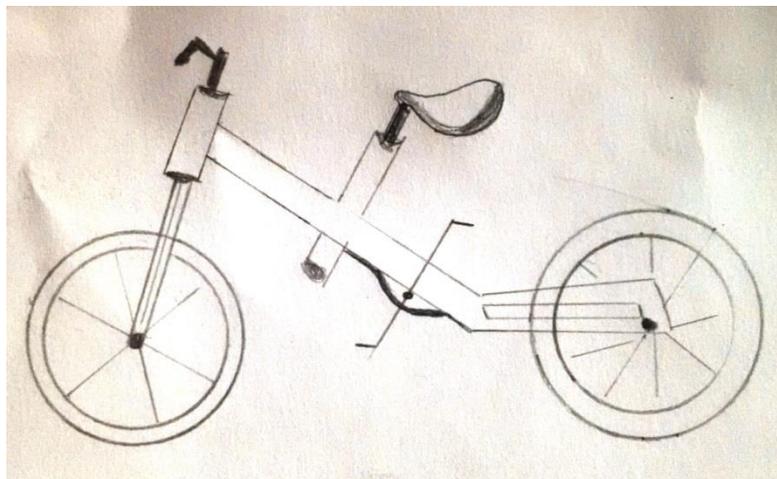


Figura 35. XT Bike

Fuente: Autor

Bosquejo dos se denominó como xt bike en razón del cuadro que aparenta estar formado por dos tubos cruzados como x, presenta una geometría conservadora en donde se hace evidente que el tubo principal se extiende más abajo del eje pedalier, las ruedas posteriores son soportadas por dos tubos curvos, en consideración a la batería y sus dimensiones se hace necesario buscar el espacio adecuado para su posición. Existe la posibilidad de colocar apoyas pies en este cuadro simulando la posición de los mismos como en una moto para mayor confort.

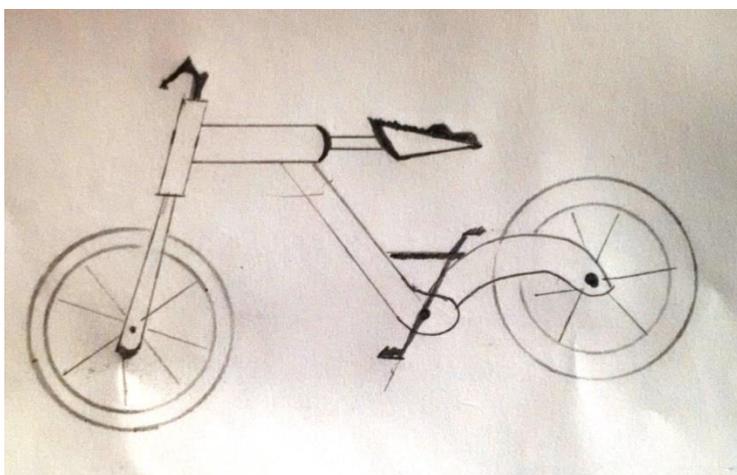


Figura 36. Bike MT X

Fuente: Autor

Bosquejo tres toma el nombre de bike mtx un concepto con estéticas conservadoras en el cuadro como se puede observar está formado por un solo cuerpo que une la parte superior del cuadro con las ruedas, este diseño tiene una característica desafiante debido al recorrido del asiento ya que se desplazaría de forma horizontal siendo necesario algunas consideraciones en función de la ergonomía del ciclista, respecto a la batería por su tamaño se ubicaría inclinada en el tubo vertical debajo del asiento, pero se correría el riesgo de estar en contacto próximo a los pedales con probabilidades de sufrir algún golpe.

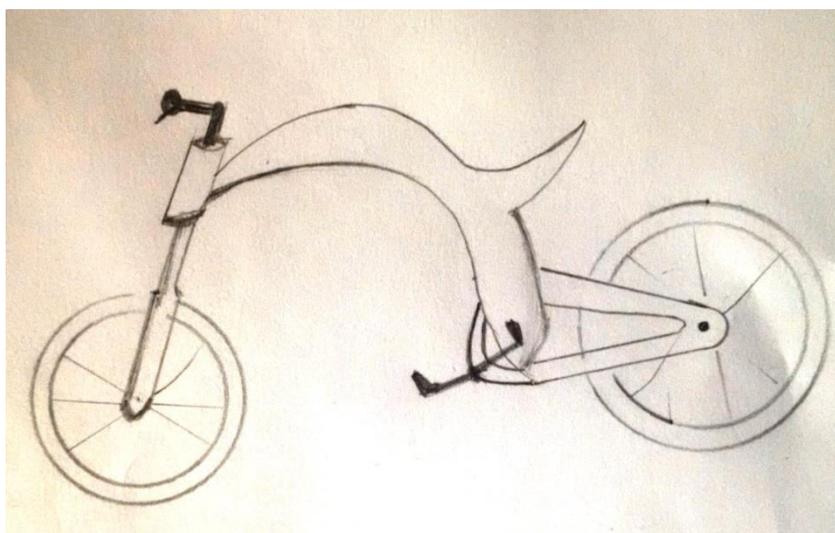


Figura 37. Bike Innovo XP
Fuente: Autor

Bosquejo cuatro llamado innovo xp debido a sus geometrías curvas no muy empleadas dentro del diseño de cuadros de bicicletas, está formado por un tubo de mayor diámetro de lo normal que forma un solo cuerpo, tubos posteriores en forma ovalada para soportar las ruedas traseras, dentro de los rasgos se tiene que el asiento tiene un aspecto más ergonómico con curvas no muy comunes, la batería podría ser ubicada en el tubo horizontal en razón de existir mayor espacio sería el lugar más adecuado, el pedalier se encuentra soportado por dos tubos unidos al cuadro en forma de u.

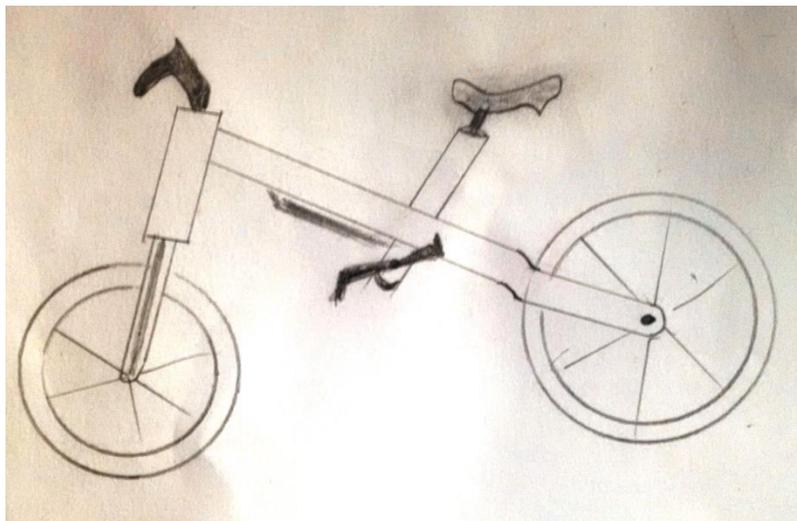


Figura 38. Bike UNI X

Fuente: Autor

Ultimo bosquejo cinco llamado uni x en razón de su tubo principal que forma la mayor parte de todo el cuadro, se puede apreciar una sencillez en su diseño con rasgos apegados a la mayoría de bicicletas, en este caso el pedalier no estaría sobre el cuadro principal se ubicaría en el tubo del sillín parte inferior, la batería se colocaría en el tubo principal.

En base a las características antes descritas de cada uno de los bosquejos a continuación se realizara una tabla comparativa que permita promover la elección más adecuada del cuadro a realizar, en función de ciertos parámetros se otorgara un valor del 1 al 5 siendo este último el valor más alto para referirse a las mejores prestaciones.

Tabla 11:

Parámetros de calificación de los bosquejos propuestos

Bosquejo	Factibilidad	Innovación	Características	Confort	Total
1	3.5	5	4	5	17.5
2	4	4	4	4	16
3	4	4	4.5	3	15.5
4	4	5	4.5	5	18.50
5	5	3.5	4	4	16.5

La figura 39 representa los resultados de los distintos bosquejos en función de la puntuación obtenida en la tabla anterior.

*Figura 39.* Grafica de Resultados Modelos

Fuente: Autor

Ensamble con otros componentes

Ruedas

Para el cuadro se utilizara ruedas 26" al ser las más livianas y las que permiten maniobrar con mayor rapidez. Así también permiten que el cuadro sea más compacto

reduciendo ligeramente peso en el mismo, también su rigidez lateral tiende a ser mayor, lo cual los hace más resistentes y menos proclives a flexionarse. Con este tipo de llanta, también es más fácil realizar variaciones de velocidad, arrancar y detenerse.

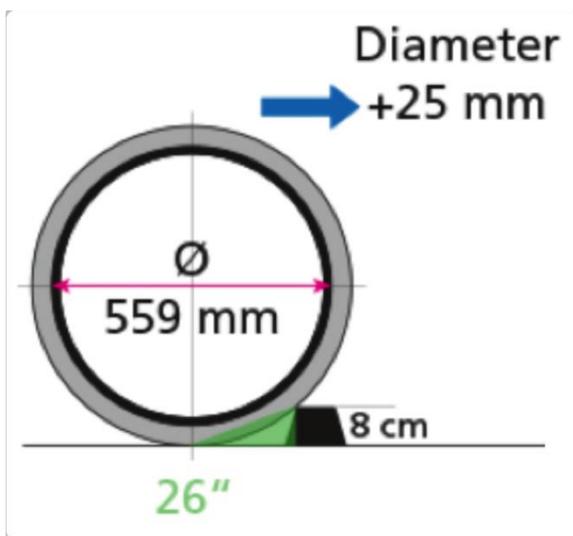


Figura 40. Dimensiones de rueda 26"
Fuente: (bitech, 2016)

Pedaliar

Otro elemento a referenciar dentro de los parámetros del cuadro es la selección adecuada del tipo de pedaliar a utilizar, este componente constituye el conjunto de eje, rodamientos y piezas encargadas de unir las bielas y pedales mediante los cuales se proporciona la propulsión a las ruedas posteriores, con ello las pedaleadas se transforman en giro que mueve la transmisión. Dentro de la selección de las medidas más adecuadas existen diversos tipos de pedaliar algunos más usados que otros como el sistema roscado, sin embargo debido a la facilidad de montaje y simplicidad de sus componentes se utilizara el estándar BB30, en el cual no se cuenta con rosca y los cojinetes van montados en el interior de la caja de pedaliar, esto presenta algunas ventajas, de cierta manera se mejora la rigidez a través del eje de pedallier utilizando 30 mm, con mayor rigidez se

permite una mejor transmisión de la potencia, por tanto la superficie de apoyo y el rodamiento se reduce eso permite tener menor fricción con un mejor rendimiento.

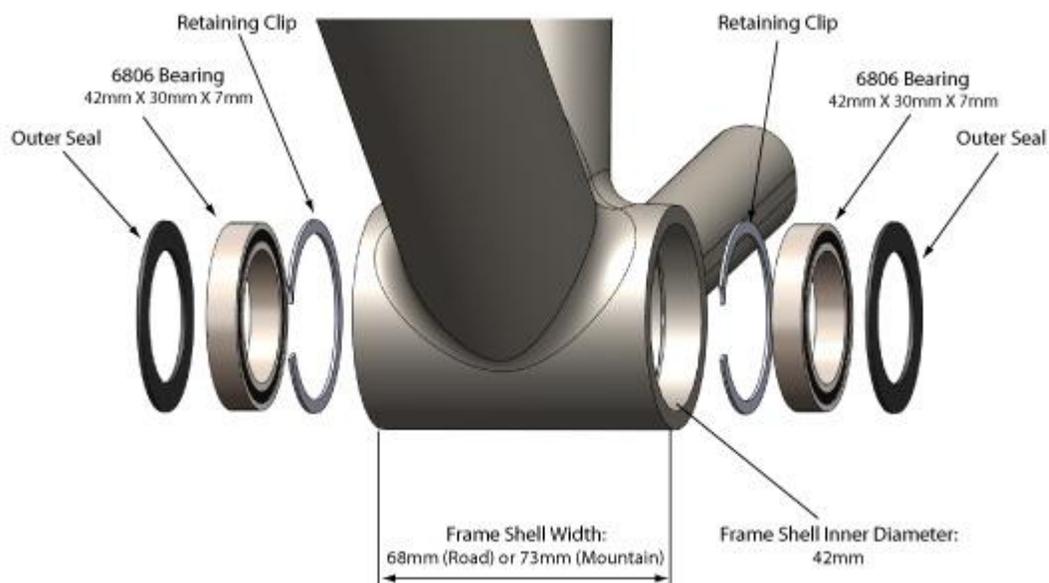


Figura 41. Pedalier
Fuente: (Emeb, 2016)

Las dimensiones internas y externas que forman parte del pedalier a utilizar se muestran en la figura 42.

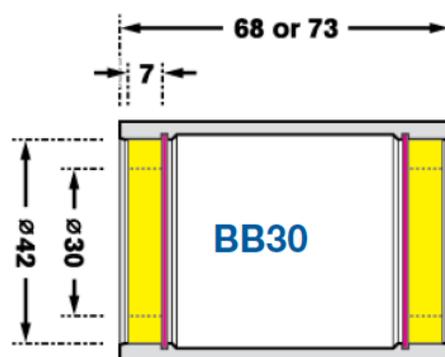


Figura 42. Dimensiones Pedalier

Manubrio

Componente que forma parte primordial de la bicicleta, cumple con la función principal de controlar y dar dirección, el manubrio se encarga de conectar dos de los cinco puntos que se encuentran en contacto entre esta y nuestro cuerpo. Sin embargo no todos son iguales su geometría y diseño dependen mucho de su tipo de uso, por esta razón es necesario poder definir el más adecuado para el cuadro de bicicleta en análisis. La selección se fundamenta en base a características propias del diseño, al ser un medio de transporte urbano y de uso frecuente para recorridos en caminos regulares o vías de segundo orden, también debe poseer alta maniobrabilidad para el accionamiento del sistema de impulsión, con un mayor confort, bajo peso, y ser adaptable con el cuadro.

Al haber definido varias características del manubrio es primordial definir las condiciones establecidas en su geometría acorde al diseño del cuadro, para lo cual se emplea en su modelado una doble altura, al ser la bicicleta de aplicación urbana se opta por incluir curvas en los extremos que corren hacia el ciclista, al tomar esta disposición se tiene como ventaja permitir una posición de las manos bastante confortable con lo cual el ciclista toma una posición con el tronco erguido, por razones de funcionalidad las extremidades superiores estarán más descansadas siendo la mejor condición considerando que se tiene una bicicleta con asistencia eléctrica para limitar el pedaleo. Al ser una bicicleta de ciudad se busca tener mayor comodidad con una posición del ciclista que permita obtener mayor visibilidad a la vez que admite que éste sea visto con más facilidad por conductores y ciclistas. Como valor de referencia se tiene que mientras la distancia entre los hombros sea más corta mayor debe ser la curvatura del manubrio pudiendo utilizar un ángulo de hasta aproximadamente 28° .



Figura 43. Manubrio curvo
Fuente: (Ramirez, 2017)

En virtud de las consideraciones antes expuestas con fundamento del apartado que menciona respecto a ergonomía como parte fundamental en el diseño del cuadro de la bicicleta, se presenta el modelado del manubrio en 3D, para las medidas del componente se estable las dimensiones de los hombros, brazo y sillín, mientras que se empleara tubo de diámetro 30 mm con grado de inclinación de 20° respectivamente conservando la postura del ciclista que mantiene la espalda recta.

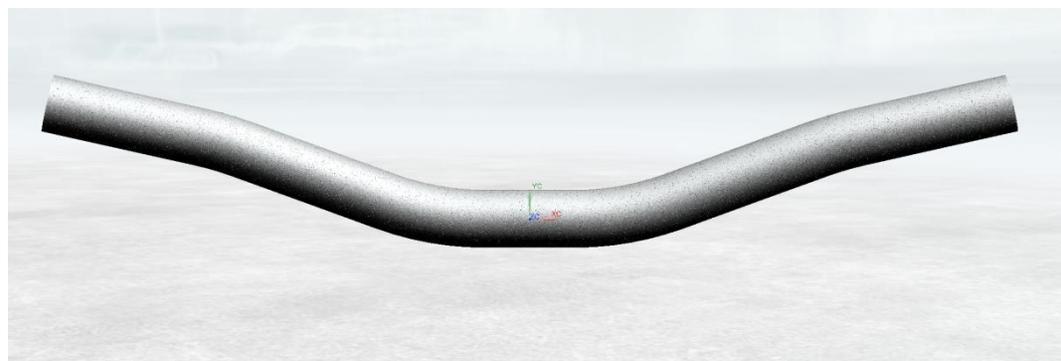


Figura 44. Vista frontal modelado manubrio.
Fuente: Autor

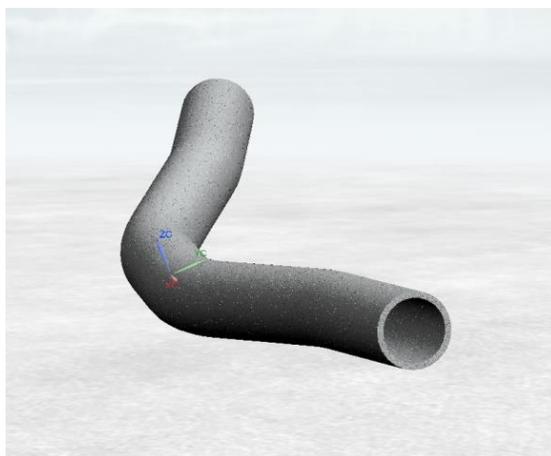


Figura 45. Modelado 3D manubrio

Fuente: Autor

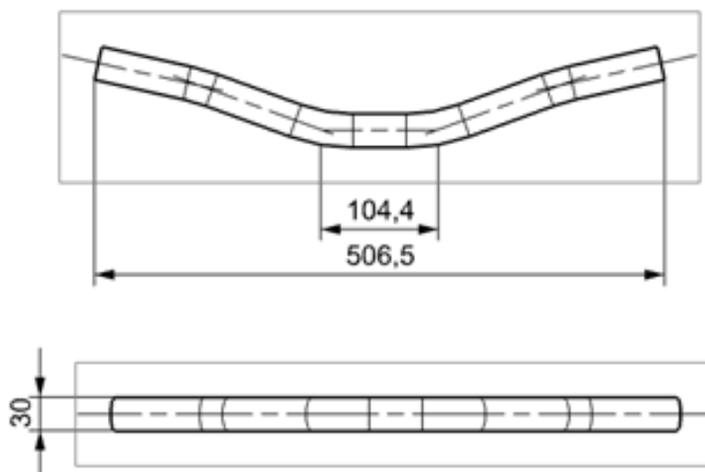


Figura 46. Dimensiones Manubrio

Fuente: Autor

Biela

En virtud de ser un elemento que forma parte esencial en la bicicleta, tienen mucha influencia al momento de transmitir el movimiento de la fuerza que se realiza sobre los pedales para transmitir el giro a la rueda, en función de la aplicación pueden considerarse ciertas modificaciones, sin embargo en este caso se establecerá la longitud de la biela recomendada en función de la ergonomía actual de la población latinoamericana

mencionada en los apartados anteriores. La tabla 12 muestra las longitudes recomendadas de acuerdo a esta distancia.

Tabla 12:

Distancia de la biela en función de la pierna

Longitud de la Biela (mm)	Longitud de la pierna (mm)
170	< 78.7
172.5	78.7 – 83.8
175	> 83.8

Analizando la tabla anterior y comparando con el valor tomado de una población como dato promedio se tiene que la longitud de la pierna es de 81.9 mm, por lo tanto es recomendable utilizar una longitud de la biela de 172.5 mm, cabe señalar que la distancia entre bielas a utilizar será de 148 mm.

Peores condiciones a las que está expuesta la bicicleta

Los cuadros de bicicleta tienen que ser construidos para manejar una variedad de cargas, en primer lugar el marco debe ser capaz de soportar su propio peso y otros componentes de la bicicleta, que serán considerados como cargas estáticas. Además el marco tiene que ser capaz de manejar el peso del ciclista, las fuerzas de pedaleo y frenado y los efectos de las superficies de las carreteras. Estas son las cargas dinámicas, que son las más problemáticas, ya que cambian y varían en intensidad dependiendo de varios factores. Dentro de las áreas que soportan mayores esfuerzos están el tubo que une la horquilla con la barra transversal formada por el tubo de la dirección.

Siendo más específicos en base a la segunda ley de Newton que explica la relación entre potencia, masa y movimiento, con esto se explica algo lógico que muchas puede ser pasado por alto siendo muy determinante, expresado en otras palabras fáciles de entender mientras exista un mayor peso, más energía se necesitara para poder mover dicho peso. Entonces este factor es de mucha influencia para el cuadro en estudio debido a que un mayor peso involucra tener un mayor consumo con lo cual el rendimiento de los elementos electrónicos puede ser menor, hablando en términos de eficiencia se busca lograr un alto desempeño en función del uso al cual va estar expuesta la bicicleta. Por tanto la masa en el cuadro debe minimizarse para que el peso total de la bicicleta y componentes electrónicos no sea innecesariamente alto. Caso contrario existirá una reducción en la autonomía de la batería y por ende se descargara más rápido dependiendo de dichas situaciones.

Condiciones meteorológicas

Otros factores de influencia también son las fuerzas externas que interfieren significativamente en el funcionamiento de los componentes electrónicos en este caso la batería, pudiendo existir aumentos de rendimiento en torno a un 22% debido al viento a favor, así también se han visto reducciones significativas en el rendimiento al pedalear con el viento en contra.

Dentro de las condiciones meteorológicas esta la temperatura también determinante, a diferencia de ciertos componentes electrónicos, las baterías por su constitución no funcionan de mejor manera al tener bajas temperaturas debido al funcionamiento mediante reacciones químicas. Con una temperatura de 0° es suficiente para que el rendimiento de la batería se reduzca en un 20% esto no significa que pierda la

capacidad para mantener la carga o exista un fallo en las celdas, lo que sucede es que con el frío no se permite que los electrones se desplacen con la misma soltura que a temperaturas altas, sin embargo no quiere decir que cuanto más calor haga mejor funcionará nuestra batería, esto se maneja debido a un rango óptimo de funcionamiento aproximado entre 35 – 45 °C. Al sobrepasar ese rango se empieza a notar como la batería pierde la carga debido a la inestabilidad de los iones de litio siendo menor su autonomía en cuanto a duración de la carga.

Debido a que la mayor parte de componentes se pueden deteriorar prematuramente en condiciones climáticas de lluvia o humedad se considera necesario poder emplear cables en el interior de los tubos que forman parte de la estructura de la bicicleta.

Resistencia al viento

Como se había mencionado anteriormente existen factores que influyen en el desempeño de la bicicleta en este caso nos referimos a la resistencia al viento, bajo ciertas condiciones afecta la velocidad en cada trayecto. En el caso de subir más verticalmente, existirá mayor resistencia al viento, esto se debe a que el cuerpo crea una pobre aerodinámica al estar en bicicleta, que a pesar de los diseños de bicicletas aerodinámicas y demás recursos, el cuerpo siempre detiene enormemente, ya que de acuerdo a nuestra fisonomía no está hecho para cortar a través del aire. En el caso de los ciclistas aprenden formas e inventan nuevas técnicas para ayudar a superar este problema, mientras que al diseñar una bicicleta se busca trabajar con características aerodinámicas. Por tanto el cuerpo humano tiende a ser el mayor obstáculo para la velocidad, aunque se encuentre en condiciones medias o ventosas.

Arrastre aerodinámico

Existen dos fuerzas que actúan contra un ciclista mientras monta, la presión del arrastre del aire y la fricción directa o fricción superficial. Mientras que una forma aerodinámica de menor volumen corta más fácilmente a través del aire, caso contrario objetos irregulares tales como un cuerpo humano interrumpen su flujo constante. Al mismo tiempo, los ciclistas experimentan una resistencia de presión desde atrás causada por bolsillos de baja presión que se crean naturalmente. Este tirón de la parte posterior, junto con la resistencia en el frente, crea una condición que tira al ciclista hacia atrás, para contra restar estas condiciones se hace uso técnicas de montar, trajes especiales que permiten reducir los efectos de estos fenómenos.

Al recorrer un llano o lugares abiertos es probable encontrarse con los vientos cruzados que pueden desestabilizar la bicicleta en distintas direcciones, estas condiciones generalmente variantes dependiendo de factores meteorológicos así como del sentido en el cual se desplace el viento, con lo cual se podría concluir diciendo que un cuerpo al trasladarse en el espacio desplaza una cantidad de aire que genera un flujo que se ve incrementado, de manera directa cuanto mayor es la velocidad y la superficie de contacto con la atmósfera. Entonces la resistencia aerodinámica sube exponencialmente conforme aumenta la velocidad, se debe tener en cuenta la velocidad, la densidad del aire (menor a más altura), la superficie frontal y el coeficiente de penetración.

Modelado 3D

Luego de la selección del cuadro más apropiado dando como resultado el bosquejo 4 se realizara el diseño o modelado con ayuda de dibujo asistido por computador mediante programa NX de Siemens, de ser el caso se realizará modificaciones en la geometría en busca de las mejores condiciones funcionales, para iniciar se abordara con las medidas base que se seleccionaron anteriormente con lo cual se realizara el cuadro base en función de una bicicleta convencional esto nos permitirá tener una referencia basada en la estructura normal del cuadro, en virtud de los parámetros de adaptabilidad se empieza con definir las curvas más pronunciadas entorno a la geometría del bosquejo.

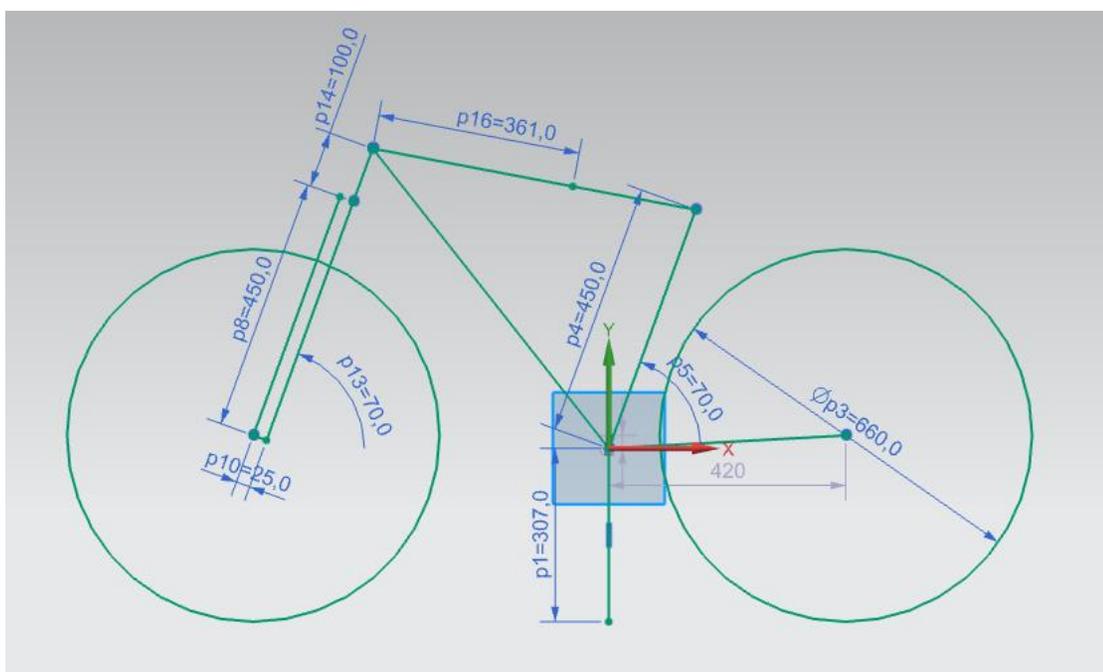


Figura 47. Dimensiones base del cuadro de bicicleta
Fuente: Autor

Posterior a la realización del primer modelado en 3D se aplica nuevos medios tecnológicos que nos permite tener un modelo real no funcional del primer cuadro modelado con lo cual se pretende examinar posibles modificaciones esenciales antes de conseguir el modelo final, para ello se realiza un modelo a escala de reducción 1:5 del

primer diseño haciendo uso de la impresión 3D empleando filamento ABS, material que posee mejores propiedades elásticas y de resistencia, para lo cual se inicia con la generación de un archivo del primer diseño con extensión stl, posteriormente es transformado en código g mediante la correcta utilización del software Cura programa capaz de generar el formato necesario con las configuraciones requeridas para la impresión 3D.

Tabla 13:

Parámetros de configuración para impresión 3d

Impresora	Prusa i3
Material	ABS
Escala	1:5
Temperatura extractor	230 ° C
Temperatura cama	70 °C
Relleno	75 %
Diámetro filamento	1.75
Calidad de impresión	Normal

Nota: Se establecen las condiciones mediante las cuales va a trabajar la impresora en la realización del prototipo no funcional.

Fuente: Autor

En la figura 48 se puede apreciar el entorno del programa cura, se estable posición del objeto en la cama de impresión así como también escala de reducción para prototipado del cuadro en análisis.

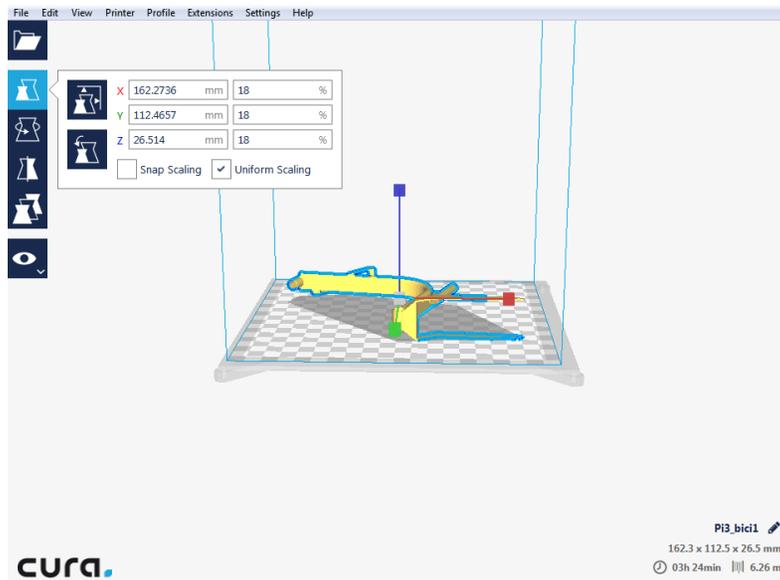


Figura 48. Programa Cura configuración de parámetros de impresión
Fuente: Autor

Posterior a la ejecución del código g en la impresora 3D, después de cinco horas de impresión continua se obtiene el modelo del primer prototipo real para realización de análisis visual en busca de las primeras mejoras en las condiciones de diseño.



Figura 49. Impresión 3D primer prototipo no funcional
Fuente: Autor

En la siguiente figura se puede apreciar una vista general del cuadro de bicicleta.



Figura 50. Modelo 3D de primer prototipo
Fuente: Autor

Después de haber realizado un análisis visual de funcionalidad del primer prototipo de cuadro impreso, se estable la realización de ciertas modificaciones en busca de mejorar las condiciones de adaptabilidad y seguridad del mismo. Se confirma que las proporciones en las dimensiones de los soportes de las ruedas presentaban mucho material así como el espesor no era suficiente esto se refleja en la excesiva flexión de los mismos, igualmente solo se encontraban soportados al tubo del *pedalier*. Inicialmente se colocó la batería en la parte superior del tubo horizontal, sin embargo se modificó su ubicación. Así también se pudo apreciar que la unión de los ejes posteriores con el *pedalier* presenta material innecesario. Luego de verificación de las diversas características del primer prototipo de cuadro de bicicleta, se ejecutan las respectivas modificaciones con lo cual se logra establecer modelado CAD de prototipo 2.

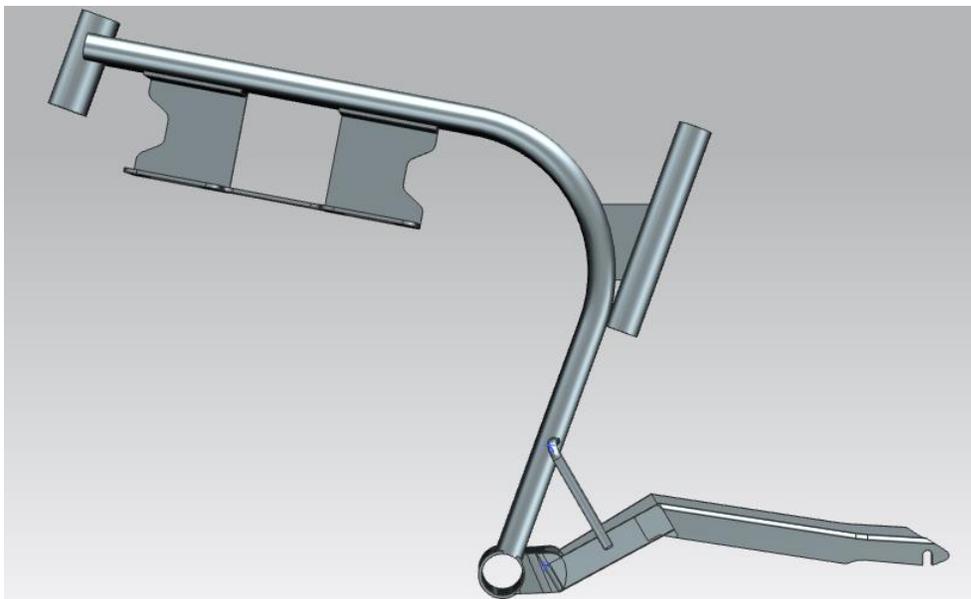


Figura 51. Modelo 3D cuadro bicicleta prototipo 2 vista lateral
Fuente: Autor

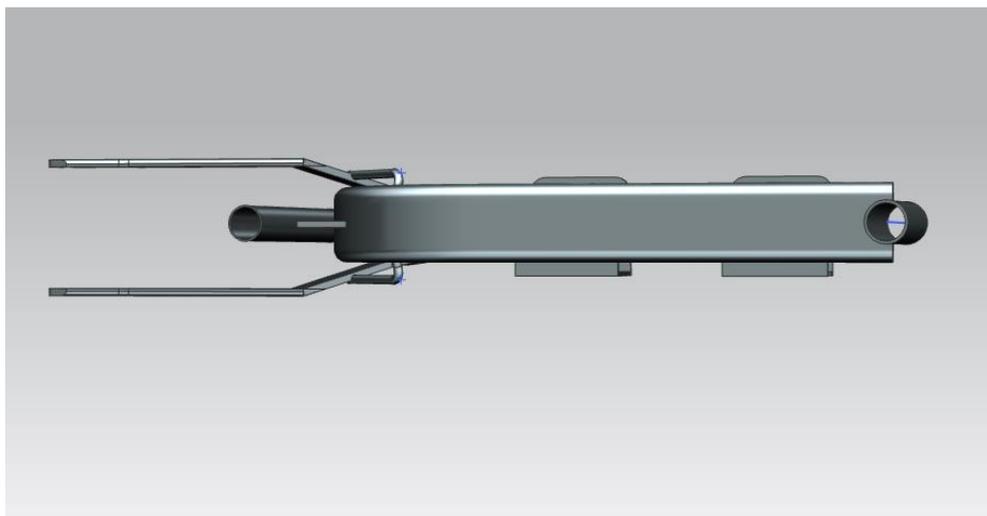


Figura 52. Modelo 3D cuadro bicicleta vista superior
Fuente: Autor



Figura 53. Modelo 3D cuadro bicicleta prototipo 2.
Fuente: Autor

Para poder cumplir con la validación del comportamiento estructural del cuadro en diseño es necesario poder contar con CAD de un modelo de cuadro de bicicleta convencional, mismo que será analizado estructuralmente y comparado con el cuadro final, con ello se pretende obtener resultados que confirmen la fiabilidad del diseño, así también dentro del estudio de la estructura final del cuadro de bicicleta se establece un análisis dinámico con la ayuda de software específicamente con apoyo del programa Solidworks que se aprovechará para validación del diseño final.

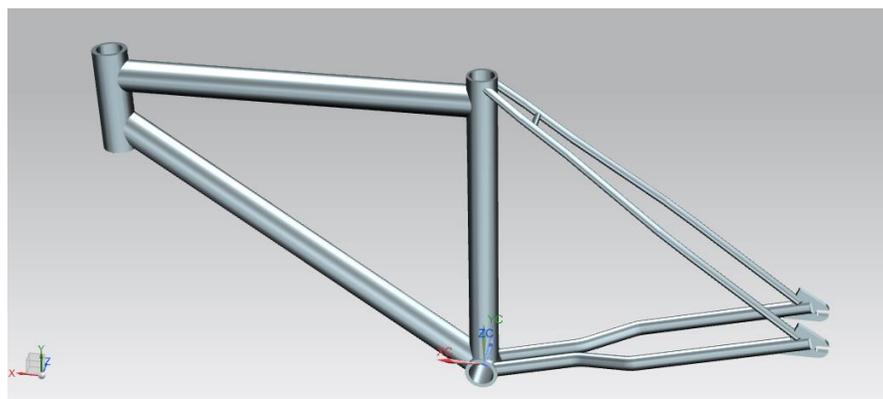


Figura 54. Modelo CAD Cuadro bicicleta convencional
Fuente: Autor

Análisis Estructural

En busca de obtener las condiciones de desempeño del cuadro de bicicleta se realiza el presente estudio estructural empleando software específicamente el programa NX de Siemens, con la finalidad de conseguir los resultados que se esperan mediante la concentración de tensiones en las zonas más propensas a encontrar esfuerzo principalmente el tubo de sillín donde se ubicara el ciclista que aporta con la mayor carga al cuadro, de ser el caso posteriormente se realizaran las modificación necesarias mediante un nuevo modelado 3D con fines de mejorar la estructura y su comportamiento al ser sometido a esfuerzo. Para ello se utilizara la estructura en cuanto a los límites de rotura y los desplazamientos que se pueden producir, se aplicara el módulo MEF del programa antes mencionado ejecutándose un mallado tridimensional, tomando en consideración que las fuerzas se encuentran verticalmente en la dirección Y, con lo que también conviene estudiar las tensiones y desplazamientos que se puede tener en los ejes X y Z, debido a las condiciones de contorno empleadas los resultados a encontrar serán en las tres dimensiones del espacio.

Es conveniente mencionar que dentro de las restricciones se tomara como posiciones fijas las conexiones de la parte trasera con la rueda y la delantera con la posición donde se ubica la horquilla respectivamente, mientras que se aplicara la fuerza en la zona del sillín, aunque en la realidad esta carga estará repartida en toda esa zona que va a estar unida a través de una placa al tubo principal, así también se analiza la carga ejercida por el peso de la batería eléctrica en el centro del tubo principal.

Antes de empezar con la simulación es necesario calcular las fuerzas a emplear en la simulación, de lo cual se tomara el peso especificado en los apartados anteriores y así como también el peso de la batería.

Ecuación para calcular la Fuerza en el sillín:

$$\text{Peso persona} = 80 \text{ kg.}$$

$$\text{Aceleracion gravedad} = 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Fuerza en sillin} = \text{Peso} * \text{aceleracion gravedad} \quad (1)$$

$$\text{Fuerza} = 80 * 9.8$$

$$\text{Fuerza} = 784 \text{ N}$$

Ecuación para calcular la fuerza en el soporte de la batería.

$$\text{Peso bateria} = 3.5 \text{ kg.}$$

$$\text{Fuerza} = \text{peso} * \text{aceleracion gravedad} \quad (2)$$

$$\text{Fuerza} = 3.5 * 9.8$$

$$\text{Fuerza} = 34.3 \text{ N}$$

Por tanto las fuerzas a utilizar serán de 784 N para aplicar en la zona del sillín y 34.3 N para el soporte en el cual se va a encontrar la batería. En vista de las consideraciones mencionadas se empieza con la selección de los parámetros adecuados para generar la simulación estática.

Análisis Materiales

En virtud del presente estudio es fundamental empezar por comentar la realidad de la industria metalmecánica local pilar primordial dentro de la cadena productiva actual del país, ya sea por su alto valor agregado, componentes tecnológicos o su articulación con diversos sectores industriales. De esta forma se justifica su transversalidad con varios sectores como alimenticio, textil, confecciones, maderero, de la construcción, etc. Por tanto este sector importante para el desarrollo de proyectos estratégicos y gran generador de empleo ya que se necesita de operarios, mecánicos, técnicos, herreros, soldadores, electricistas, torneros e ingenieros dentro de su cadena productiva.

De acuerdo al ministerio de comercio exterior los principales productos fabricados por esta industria son: cocinas, torres de telecomunicaciones, partes de máquinas de perforación, conductores eléctricos, estructuras metálicas, tubos y perfiles huecos de hierro, varilla de acero, techos de acero, alambre de púas, alambre galvanizado, ángulos tee's, cables de aluminio aislado, alcantarillas, clavos, mallas, etc.

Sin embargo este amplio mercado metalmecánico dentro del país se hace muy limitado entorno a la búsqueda de diversidad de materiales al momento de utilizar para aplicaciones específicas, la mayoría de componentes son empleados para uso mecánico, industrial o automotriz siendo el material más utilizado el acero en sus distintos conformados, por tal razón existen varias empresas a nivel nacional entre las cuales se puede nombrar a Ipac, Dipac, Kubiec, Andec entre otras, dedicadas a la producción de este tipo de material en diversos tamaños y dimensiones como tubos, perfiles, planchas, varillas etc. Sin embargo se considera como elemento referencial los estudios preliminares

que demuestran el mayor inconveniente dentro del diseño del cuadro de bicicleta es contrarrestar el peso del mismo, en vista de la generación de una mayor carga para los componentes electrónicos a utilizar, este criterio será fundamental dentro de la selección del material más adecuado para el cuadro de bicicleta.

Con base en lo antes expuesto son varias las empresas relacionadas con el sector de la metalurgia como se mencionó, sin embargo para este análisis se menciona a IPAC S.A empresa perteneciente a la Federación Ecuatoriana de Industrias del Metal, que se dedicada a fabricar y comercializar productos de acero con óptima calidad, cuenta con un amplio catálogo de productos, dentro de los cuales se seleccionan los materiales más adecuados para este estudio comparativo se emplea tubería estructural y mecánica del tipo redonda con similares dimensiones.

Se inicia con la primera opción dentro de la selección del material para ello se tiene tubería estructural redonda, varias de las aplicaciones mediante las cuales se hace uso de este elemento son: sector automotriz con la fabricación de autopartes como carrocería, guardachoques, tubos de escape, también en maquinaria e implementos agrícolas, avícolas, ganaderos y en la construcción de rejas, portones, columnas, andamios. Las características como media comparativa de este material fabricado bajo normas ASTM A 500 son mencionadas en la siguiente tabla:

Tabla 14

Características del material tubería estructural redonda

Diámetro mm	Espesor mm	Área mm^2	Peso kg/m	Momento inercia cm^4	Modulo resistencia cm^3
31.80	2	1.87	1.47	2.08	1.31

Como segunda opción de material se considera tubería mecánica redonda, componente estructural de uso diario en aplicaciones como: muebles metálicos en general, cerrajería, partes y piezas para productos de línea blanca, tubos para closets, rieles de cortina, fabricación de remolques y tubos de escape para vehículos, dentro de sus principales características se menciona las mostradas en la siguiente tabla:

Tabla 15

Características del material tubería mecánica redonda

Diámetro mm	Espesor mm	Área mm^2	Peso kg/m	Momento inercia cm^4	Modulo resistencia cm^3
31.75	1.5	1.43	1.12	1.63	1..03

De acuerdo a los dos materiales seleccionados anteriormente con fundamento en las tablas que muestran sus características tanto del tubo estructural como del mecánico con similares medidas se puede apreciar una notable semejanza, sin embargo en condiciones leves de flexión y soporte de carga se presenta una ligera ventaja por parte del acero estructural esto se refleja en sus condiciones de mayor resistencia y mejor comportamiento mecánico, mientras que por sus dimensiones la tubería mecánica aporta leve disminución en cuanto a peso y espesor del tubo.

Otro material dentro del medio a considerar para el presente estudio es el aluminio, la utilización de esta materia prima se ve reflejado en gran medida en el sector de la construcción con varios fabricantes dentro del país con empresas como Estrusa o CEDAL, sin embargo debido a sus componentes desarrollados como puertas, cuerpos fijos, ventanas, estructuras de aluminio, etc. Debido a las condiciones de uso al no estar sometidos a cargas puntuales que reflejen altos esfuerzos así como sus dimensiones y formas rectangulares en su mayoría no corresponde a la aplicación para este uso. Pero cabe señalar que también se tiene en menor medida materiales de aluminio estructural para otro tipo de aplicaciones, con lo cual se tiene la que la empresa Fisa dentro de su portafolio de productos cuenta con tubos ovalados fabricados en aluminio 6063 T6 con las dimensiones necesarias para la conformación del cuadro.

Tabla 16:

Propiedades del Aluminio 6063 T6

Carga máxima de rotura	245 Mpa
Limite elástico	215 Mpa
Elongación	8 %
Dureza Brinell	73
Módulo de elasticidad	68300 Mpa

Fuente: Autor

Con base en los tres materiales expuestos: tubo estructural, mecánico y aluminio estructural en vista de las condiciones del cuadro se establece como mejor opción para aplicar en el presente estudio materiales de aluminio, debido a su peso inferior así como también su buen comportamiento estructural.

Luego de obtener las condiciones de carga mediante las cuales está expuesto el cuadro de bicicleta y haber establecido el material en el apartado anterior se inicia con desarrollo de MEF utilizando para ello solución nastran del programa NX, siendo importante definir las primeras condiciones de contorno que permitirán la correcta ejecución de la simulación.

Tabla 17:

Parámetros de mallado

Solución	NX naxtran
Tipo de análisis	Estructural
Tipo de malla	CTETRA 10
Tamaño de elemento de malla	10 mm
Método del modo medio	Mixto
Máximo Jacobiano	10

Nota: condiciones de contorno para análisis estático.

Fuente: Autor

Con base en los parámetros de configuración para generación de simulación que se establecen en la tabla 15, partiendo con el diseño CAD del cuadro de bicicleta se genera el mallado de todos los componentes del cuadro como una sola pieza. Así también se establecen dos cargas puntuales respecto al peso del ciclista en el tubo del sillín y peso de batería en el soporte de la misma, siendo 784 N y 34 N respectivamente.

El tipo de malla a utilizar se realiza en función de la geometría del cuadro y se toma como valor predeterminado 10 mm debido a consideraciones de tamaño del elemento que está considerado con las dimensiones reales del objeto.

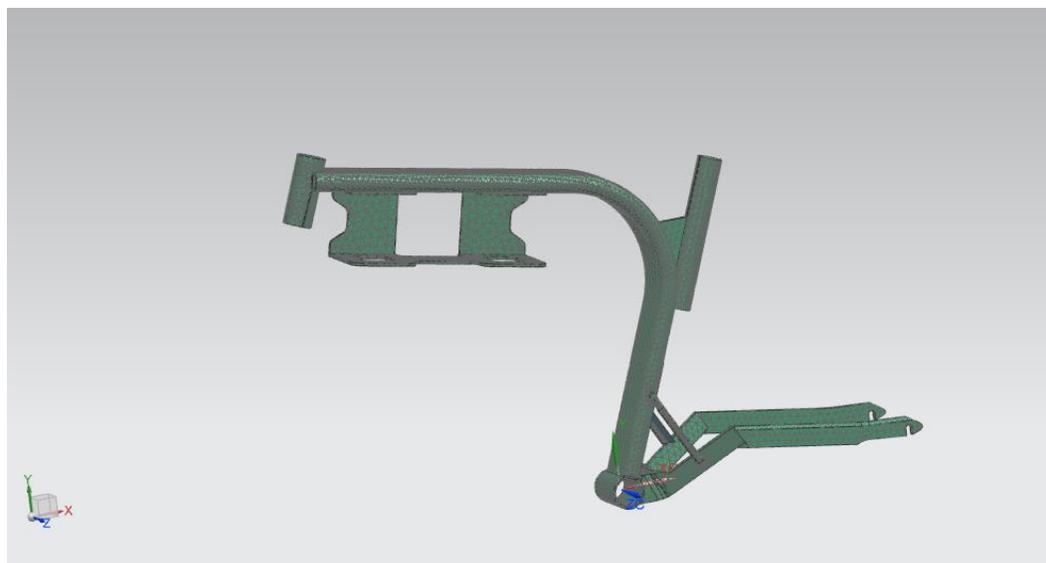


Figura 55. Mallado cuadro bicicleta prototipo 2.
Fuente: Autor

Luego de haber realizado las consideraciones para la correcta simulación a continuación se presentan los resultados del comportamiento del cuadro.

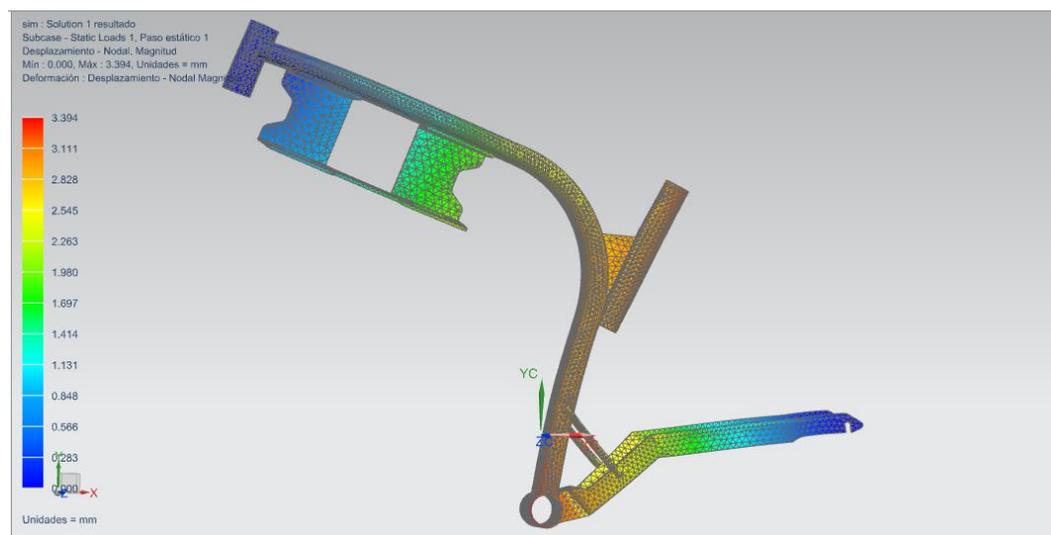


Figura 53. Primer resultado análisis desplazamiento prototipo 2.
Fuente: Autor

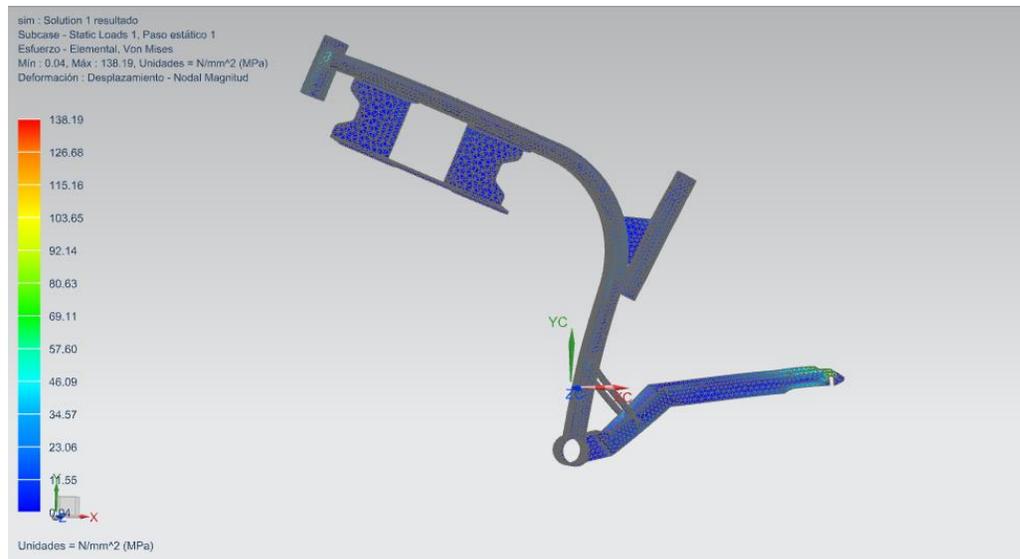


Figura 56. Primer resultado análisis de esfuerzo soporte batería y sillín prototipo 2.

Fuente: Autor

Revisando los esfuerzos y deformaciones obtenidos mediante los análisis de la estructura se puede apreciar que respecto a la carga ejercida en el soporte de la batería no se tiene ningún tipo de falla en virtud de la fuerza aplicada que en este caso será mínima, sin embargo el soporte posterior entre los tubos que van hacia la rueda trasera y el cuadro principal presenta un desplazamiento vertical, por tanto es indispensable revisar su comportamiento en busca de modificar su comportamiento estructural.

Al comprender el comportamiento estructural obtenido mediante la simulación y de acuerdo a las condiciones de los resultados es preciso realizar un cambio en los soportes posteriores que unen el cuadro principal con los tubos posteriores, cambiando su posición y aumentando su longitud para ser ubicados casi a la altura del tubo del sillín, siendo importante considerar las posibles interferencias que se podrían presentar con la rueda.



Figura 57. Modela 3D con modificación en prototipo 2
Fuente: Autor

Debido al el nuevo diseño del cuadro con las modificaciones pertinentes, es necesario otro análisis mediante los mismos parámetros de simulación para la estructura del cuadro de la bicicleta, en busca de lograr obtener nuevos resultados que confirmen la mejora en el comportamiento de la estructura con las innovaciones ejecutadas durante el nuevo modelado 3D.

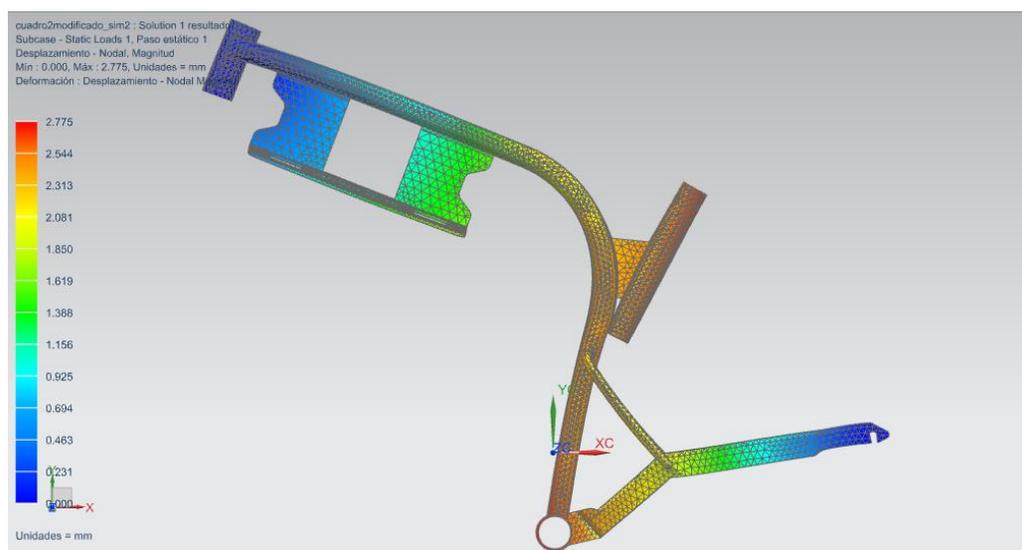


Figura 58. Segundo resultado análisis desplazamiento
Fuente: Autor

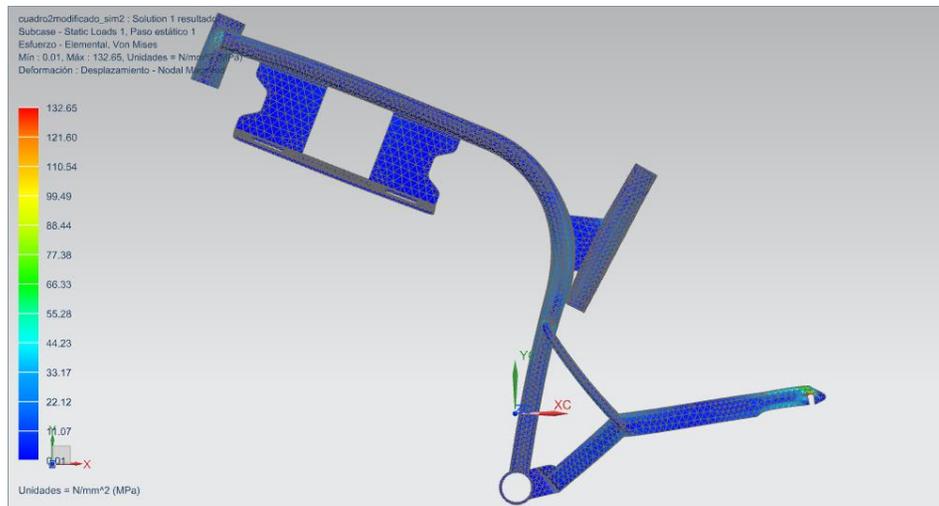


Figura 59. Segundo resultado análisis desplazamiento
Fuente: Autor

Análisis del modo y efecto de falla

En base a todo lo propuesto anteriormente es fundamental realizar un análisis de modo y efecto de fallo (AMEF), con ello se pretende mejorar los puntos críticos del diseño y evitar posibles daños en el modelo final visto como ensamble con los otros elementos de la bicicleta, la correcta aplicación de esta metodología mejora las condiciones iniciales y el proceso mediante el cual se ejecuta el plan de diseño.

Otros puntos críticos dentro del diseño del cuadro de bicicleta se fundamentan en tres pilares la facilidad del ensamble con otros componentes estándar de la bicicleta, capacidad de acoplar elementos tecnológicos y funcionalidad del diseño con el entorno es decir confort de quien conduce la bicicleta.

Entre las condiciones de diseño lo principal a considerar en la estructura del cuadro es la capacidad de poder soportar el peso de los diferentes componentes así como también el peso del ciclista, al estar sometido a esfuerzo cotidiano e irregularidades en el camino es fundamental por lo tanto tener en cuenta los componente más importantes en el ensamble: manubrio, soporte batería, ruedas, pedalier y horquilla delantera.

AMEF

Pasos del proceso	Modo de falla potencial	Efecto potencial de fallo	Severidad	Causas potenciales y mecanismos de fallo	Frecuencia	Controles de procesos actuales	Detección	Rpn	Acciones recomendadas	Responsabilidad	Acciones tomadas	Sev	Fre	Det	Rpn
Ruedas	Exceso de Holgura entre eje y soporte de rueda.	Desgaste prematuro.	3	Diámetro de soporte rueda demasiado grande. Eje rueda con diámetro no especificado. Ajuste tuerca fuera de rango.	4	Dimensiones de rueda $\varnothing 26$ o 27 . Verificación reajuste de eje rueda.	8	96	Eje de rueda $\varnothing 9$ ± 0.5 mm.	Andrés Torres	Control de ensamble final	3	2	4	24
Pedalier	Accionamiento de pedales inestable	Transmisión de potencia rueda posterior con fallo mecánico	2	Ajuste en eje de pedalier. Uso de rodamiento incorrecto. Seguro de sujeción incorrecto.	3	Longitud soporte pedalier 68 a 73 mm. Rodamiento 6806 .	9	54	Control en proceso de ensamble	Manufatura	Ninguna	2	1	3	6
Horquilla delantera	Ensamble incorrecto	Seguridad ciclista	1	Falla en soldadura. Los componentes de fijación no son adecuados. Angulo de dirección.	1	Verificar proceso de fijación. Angulo de dirección 70° .	9	9	Control en proceso de ensamble	Manufatura	Inspección línea de ensamble	1	1	4	4
Manubrio	Holgura entre volante y potencia	Seguridad ciclista	1	Diámetro de manubrio inapropiado. Potencia con fijación incorrecta. Falla ensamble	2	Manubrio con dimensiones $\varnothing 30$ ± 0.25 mm. Potencia con inclinación $+6^\circ$ a 17° .	8	16	Control en proceso de ensamble	Manufatura	Inspección línea de ensamble	1	1	4	4
Caja batería	Acople incorrecto	Daño en soporte batería	3	Espesor de fijación incorrecto. Soporte con no tolerancias apropiadas. Fijaciones en soporte de batería.	3	Perno de fijación M8. Verificación de ensamble.	8	72	Espesor de pared soporte 6 ± 0.10 mm	Andrés Torres	Ninguno	3	1	4	12

Figura 60. Cuadro AMEF

Fuente: Autor

Debido a ser el cuadro parte de la bicicleta es fundamental poder representar dicho ensamble con otros componentes con base en la metodología anterior se obtiene prototipo del cuadro como se muestra en la figura 61.



Figura 61. Ensamble cuadro de bicicleta
Fuente: Autor

Análisis dinámico

Continuando con el desarrollo basado en el estudio del comportamiento de la estructura se establecen cargas puntuales con esfuerzo crítico, en busca de reducir procesos de diseño con fines de modificar la estructura del cuadro de ser el caso se pretende nuevos resultados, mediante uso del proceso de análisis dinámico aplicando a la estructura del componente mencionado partiendo del modelado CAD como componente único, aplicando la correcta ejecución de este método computacional se obtiene el efecto de las cargas sometidas en el cuadro producto de las cuales se generan vibraciones resultantes en un periodo de tiempo determinado, dentro de las condiciones iniciales se

emplea material seleccionado anteriormente, también mediante este proceso es fundamental para validar si las cargas a las cuales se somete el cuadro se mejoraran mediante las nuevas modificaciones ejecutadas.

Con ayuda de programa Solidwork en el respectivo módulo de simulación se establece análisis dinámico lineal, para lo cual se usa modelo CAD de prototipo 3 previamente revisado como único componente es decir con todos sus elementos unidos formando un solo sólido, por lo tanto no debe existir interferencia en ninguna parte del componente y de existir un bucle abierto se debe corregir para no ocasionar conflictos durante el desarrollo de la simulación.



Figura 62. Modelo cuadro prototipo 3
Fuente: Autor

En la siguiente tabla se establecen las condiciones de contorno generales para colocar la configuración de las respectivas cargas y fijaciones a las cuales está sometido el cuadro de bicicleta.

Tabla 18

Parámetros establecidos para simulación

Condiciones de contorno	
Estudio	Dinámico lineal
Malla	Solida
Restricción	Fija soporte ruedas posteriores
Fuerza 1	Pedalier 600 N
Fuerza 2	Carga simulada 100 N manubrio
Restricción	Soporte horquilla delantera
Material	Aluminio 6063

Para empezar con las condiciones antes expuestas es fundamental contar con la ubicación de las cargas a las cuales va estar expuesto el cuadro de bicicleta, se tiene como principal punto crítico y sometido a constante movimiento la zona del pedalier la fuerza F_1 ejercida a través de los pedales en este punto se establece en 600 N con sentido vertical.

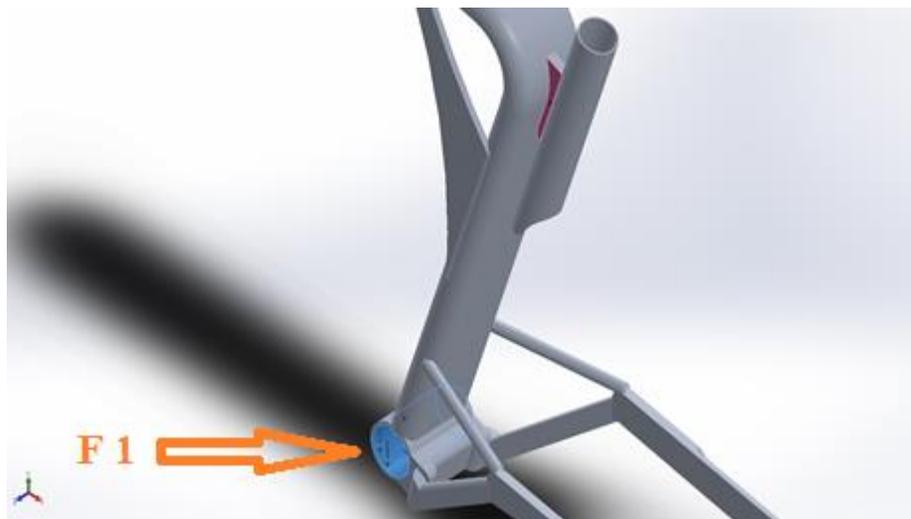


Figura 63. Localización fuerza F1
Fuente: Autor

Mientras que la otra fuerza a considerar es F2 ejercida por las manos como soporte y dirección ubicada en el manubrio, al no contar con este componente en el ensamble se emplea una carga remota en la base superior del tubo de horquilla delantera reemplazando así al componente físico, tomando como referencia la distancia horizontal del manubrio con referencia en las coordenadas x y z para su ubicación será sometida a una fuerza de 100 N en cada extremo.

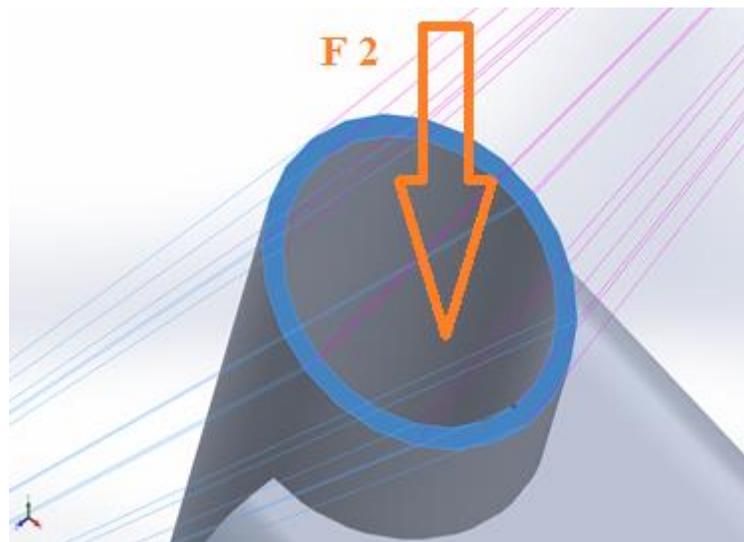


Figura 64. Localización Fuerza F2
Fuente; Autor

La siguiente figura muestra las últimas condiciones necesarias para establecer las condiciones de simulación dinámica lineal, como se mencionó anteriormente se puede apreciar dos fijaciones que se encuentran con flechas de color verde que están ubicadas en la zona del eje de las ruedas posteriores y otra en la posición de la horquilla delantera respectivamente.

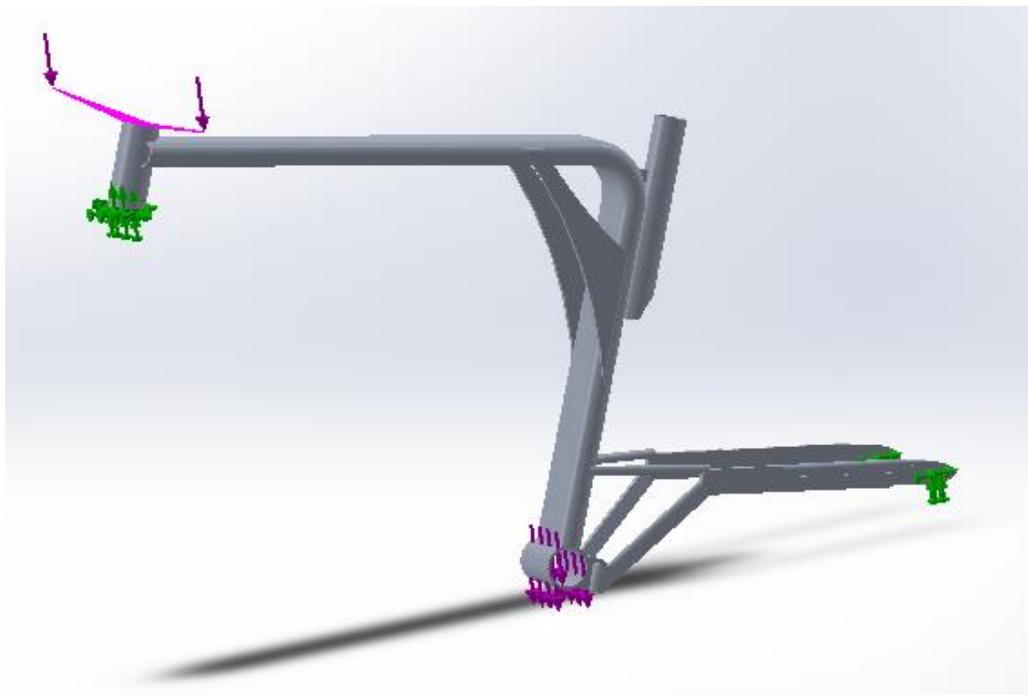


Figura 65. Condiciones de contorno para simulación dinámica
Fuente: Autor

Con todas las condiciones de contorno establecidas es necesario ejecutar el correcto mallado de la estructura de la bicicleta, se usa modo malla estándar con lo cual empieza verificación de estructura por parte del programa, posterior a la obtención de la malla estructural se ejecuta análisis mediante Solidwork que empieza la obtención de resultados a partir de la solución del solver seleccionado que realiza conjunto iteraciones basado en aproximaciones que culminan con la validación de los resultados más aceptables.

En la siguiente figura se muestra resultados del análisis estructural ejecutado en el diseño del cuadro prototipo 3.

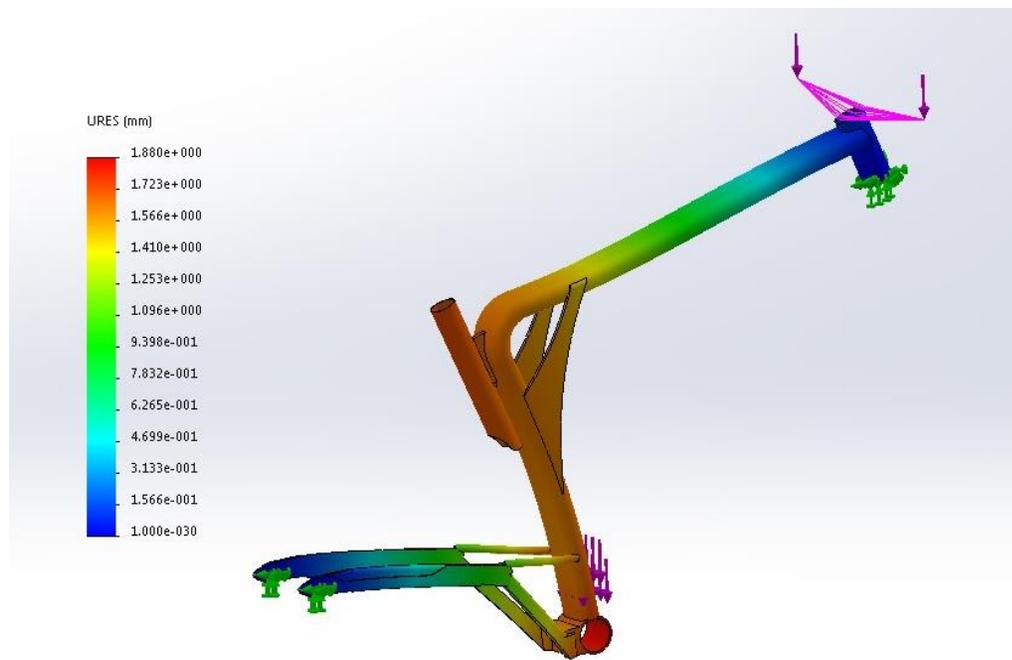


Figura 66. Resultados simulación dinámica prototipo 3
Fuente> Autor

Análisis estructural de frecuencia

Debido a las condiciones de desempeño de la bicicleta este componente en general está sometido a vibraciones no solo por la fuerza ejercida en los pedales o peso del ciclista que ocasiona un comportamiento mecánico estructural, también es fundamental analizar que sucede con el comportamiento del cuadro cuando las condiciones del camino varían específicamente en los largueros posteriores y la horquilla delantera, estos elementos también están expuestos a vibraciones condicionadas por las leyes físicas. Por tal razón es importante conocer que sucede con la frecuencia natural de funcionamiento del cuadro mediante este estudio podemos conocer dicho comportamiento, de los resultados a obtener se pretender validar la estructura del prototipo 3.

Con utilización de Solidworks con ayuda del respectivo estudio de frecuencia se comienza con las configuraciones de contorno para correcta ejecución de la simulación,

para esta prueba cabe señalar que no se ejecuta bajo ningún criterio de carga, debido a los resultados que arroja el solve lo que se pretende encontrar es el comportamiento normal del cuadro. Por tanto se inicia asignando el tipo de material del cuadro en estudio para posteriormente colocar las fijaciones respectivas en el cuadro.

Tabla 19

Parámetros para simulación frecuencia

Parámetro	
Tipo de solver	FFEPlus
Fijación	Punto A
Fijación	Punto B
Mallado	Estándar (5 mm)
Número frecuencias	5
Material	Aluminio 6063

Nota: se mencionan las condiciones iniciales mediante las cuales se estable la simulación de frecuencia a realizar.

Fuente: Autor

En la siguiente figura se representa la primera fijación denominada punto A ubicada en la sección de la horquilla delantera.

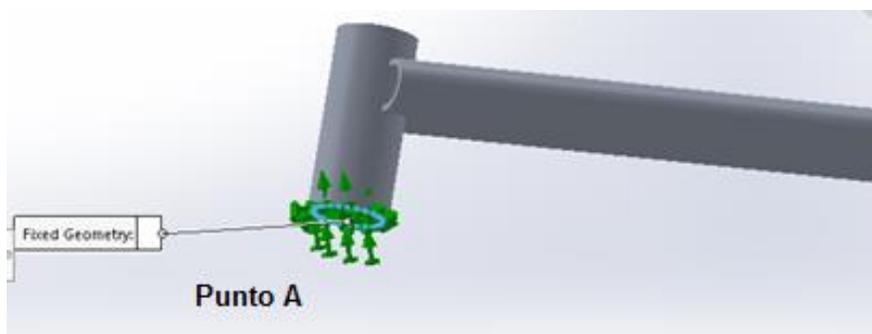


Figura 67. Fijación punto A

Fuente: Autor

A continuación se realiza la fijación del punto B correspondiente al soporte de la rueda posterior como se muestra en la figura.

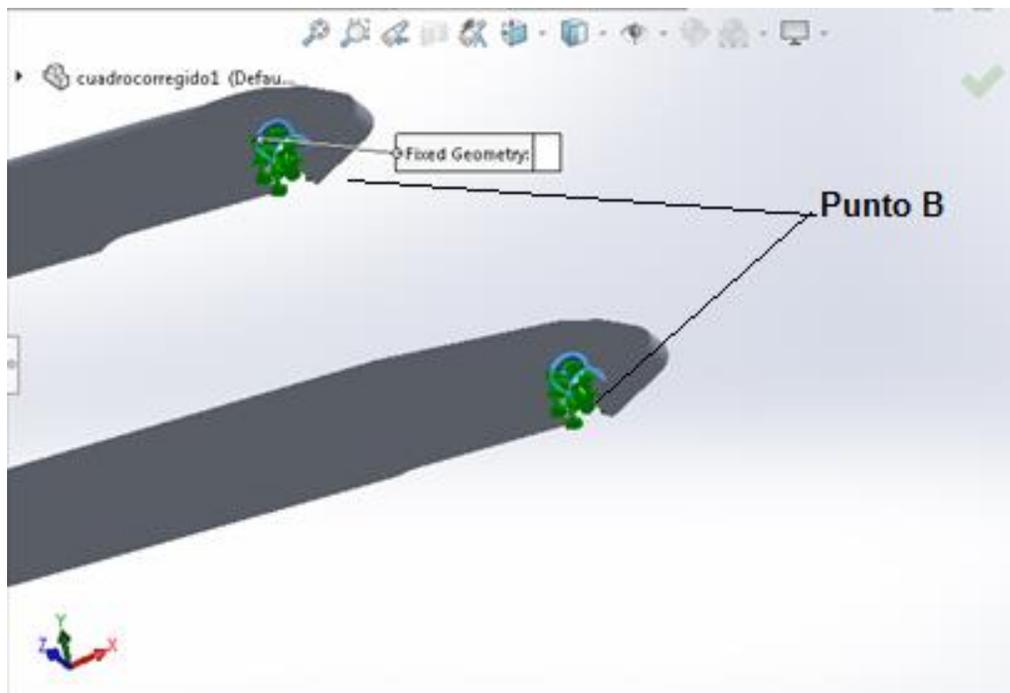


Figura 68. Fijación punto A
Fuente: Autor

Para culminar con la configuración se realiza ejecución de mallado y reconocimiento de estructura, con un mallado fino de 5 mm, luego de reconocer que no existen conflictos entorno a la estructura del sólido y al finalizar esta operación se ejecuta comando de solución para generar las condiciones de frecuencia en cada uno de los modos resultantes.

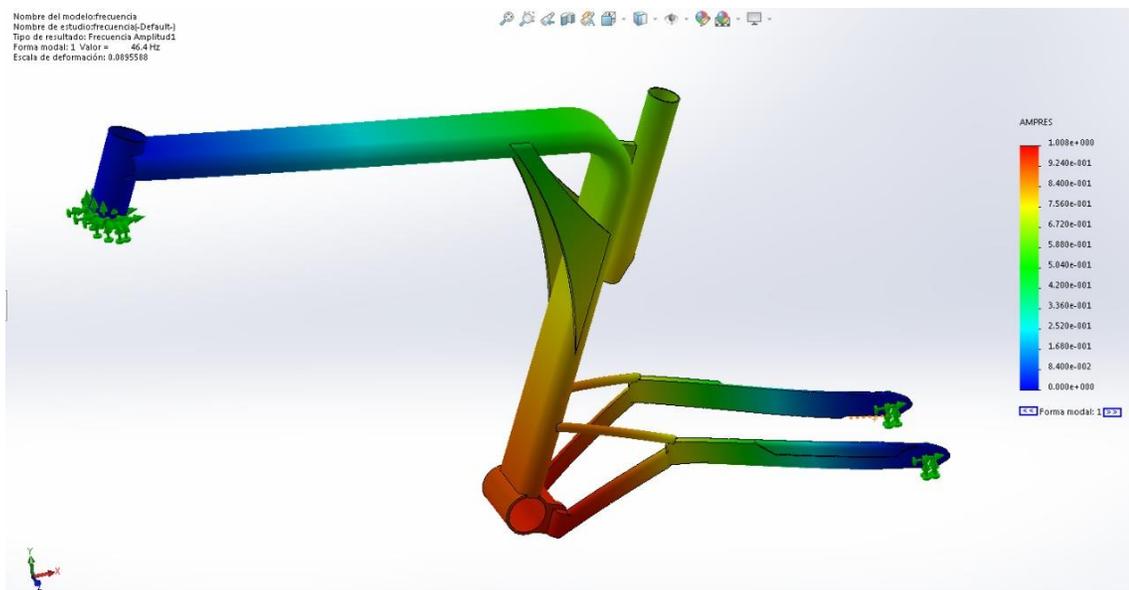


Figura 69. Resulta frecuencia modo 1.
 Fuente: Autor

Validación de Diseño

Para este estudio se pretende validar el cuadro diseñado de manera que su comportamiento estructural sea fiable, para lo cual se estable un análisis comparativo partiendo de los resultados a obtener mediante la realización de análisis estructural estático utilizando programa Nx de Siemens en el respectivo módulo de simulación, para lo cual se determinan condiciones de contorno similares para los dos cuadros de bicicleta partiendo del modelo CAD seleccionado.

Tabla 20

Condiciones de contorno

Análisis estático	
Restricción	Soporte rueda posterior
Restricción	Horquilla delantera
Fuerza Pedalier	600 N

Material	Aluminio
Mallado	Ctetra10 (10 mm)

Nota: Características establecidas para configuración de solución estática.
Fuente: Autor

En base a las condiciones antes mencionadas y empleando el mismo material se realiza simulación estática en programa NX, empezando con mallado y fijación de las restricciones especificadas para los dos cuadros de bicicleta. En este caso se tiene dos fijaciones para los dos cuadros una en la parte posterior de los largueros donde se ubica la rueda posterior punto 1 y otra en la parte inferior de la horquilla delantera punto 2. Así también se coloca una fuerza vertical en el eje y con una carga de 600 N.

En las figuras 76 y 77 respectivamente se muestra el resultado del mallado para los dos cuadros en análisis con las condiciones de contorno aplicadas.

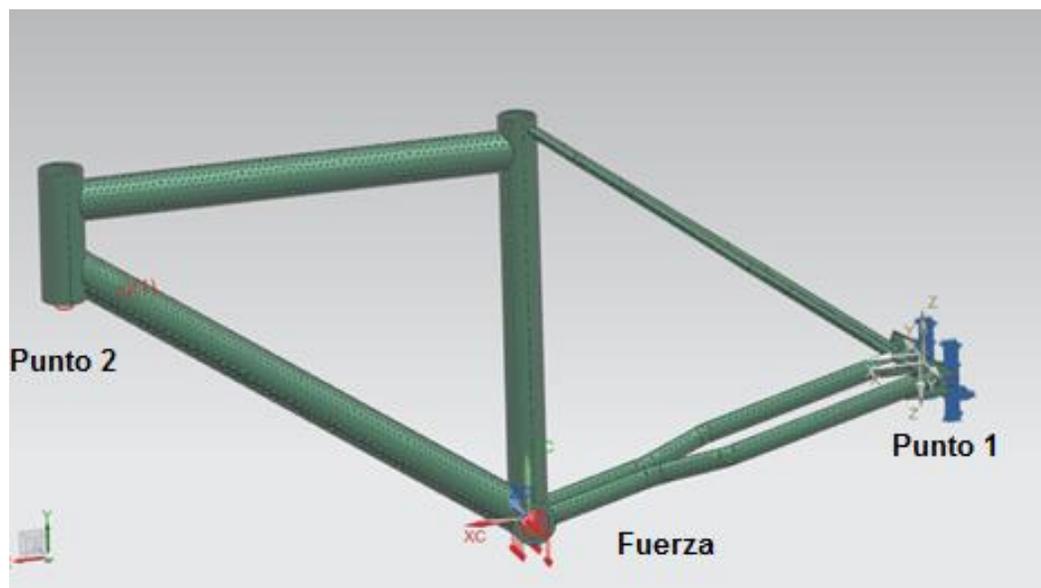


Figura 70. Mallado con condiciones de contorno cuadro convencional
Fuente: Autor

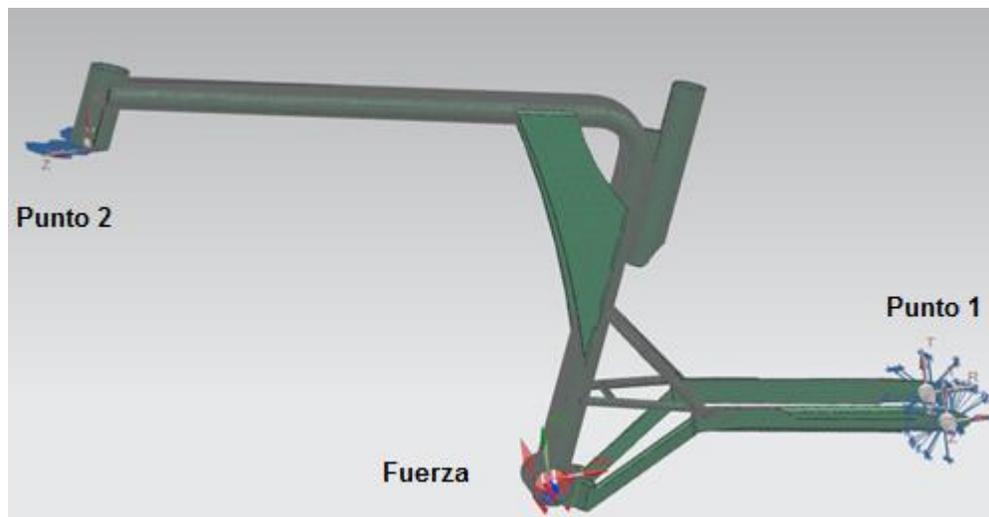


Figura 71. Geometría CAD generada con superficies.
Fuente: Autor

Posterior a la verificación de las condiciones iniciales se realiza ejecución de simulación, con lo cual se obtienen los siguientes resultados mostrados en la figura 83 y 84.

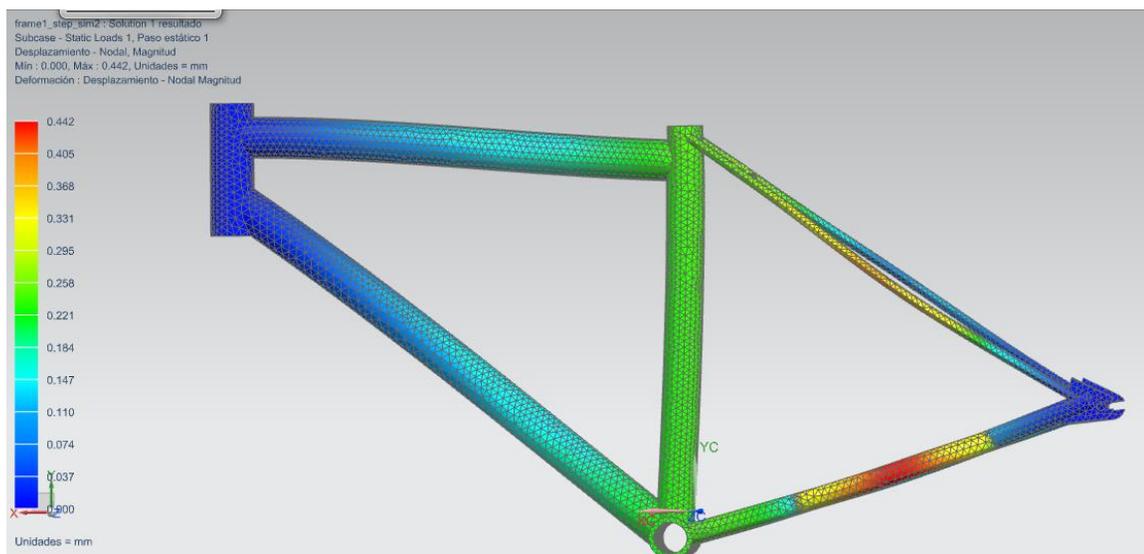


Figura 72. Resultado análisis estático cuadro convencional
Fuente: Autor

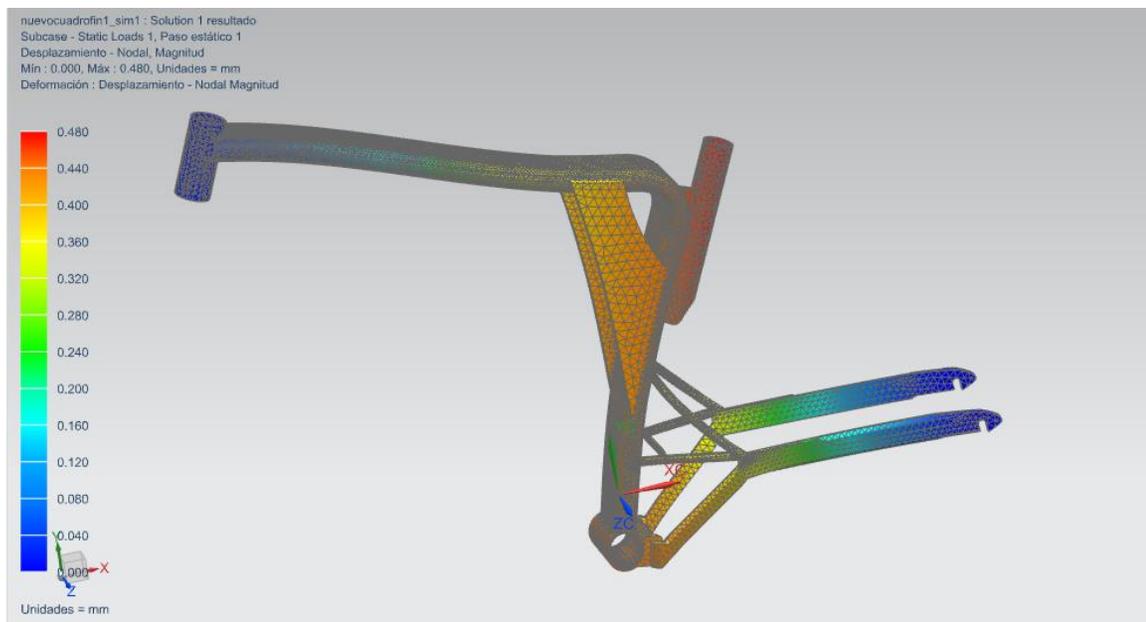


Figura 73. Resultado análisis estático cuadro diseñado
Fuente: Autor

Soporte batería

Se incluye como parte del cuadro de bicicleta un soporte de batería con modificaciones respecto al diseño inicial en prototipo 1. en vista de varios criterios de diseño pensados en mejorar parámetros de funcionalidad de las condiciones iniciales propuestas, se determina que el soporte de la batería debido a sus pliegues, dimensiones y geometrías aportaría con un mayor peso, así también pensando en una posible manufactura de ser el caso para obtener los cortes internos es probable que su acabado final aporte con un mayor costo, razón por la cual se debe plantear una nueva modificación pensada en características de simplicidad que aporten con un mejor diseño.

Luego de analizar varias mejoras posibles se define la adaptación todo el soporte de la batería por un perfil en T unido al cuadro principal de la bicicleta que tendrá un espesor de 5 mm con topes a los extremos que permitan la fijación de las tapas soporte, en la unión de estos dos elementos es donde se colocara la batería en su parte interior, es

posible la realización de la caja de algún tipo de material compuesto ligero, este componente es conformada por dos tapas unidas a través de 5 pernos con tuercas de fijación como se muestra en la siguiente figura:

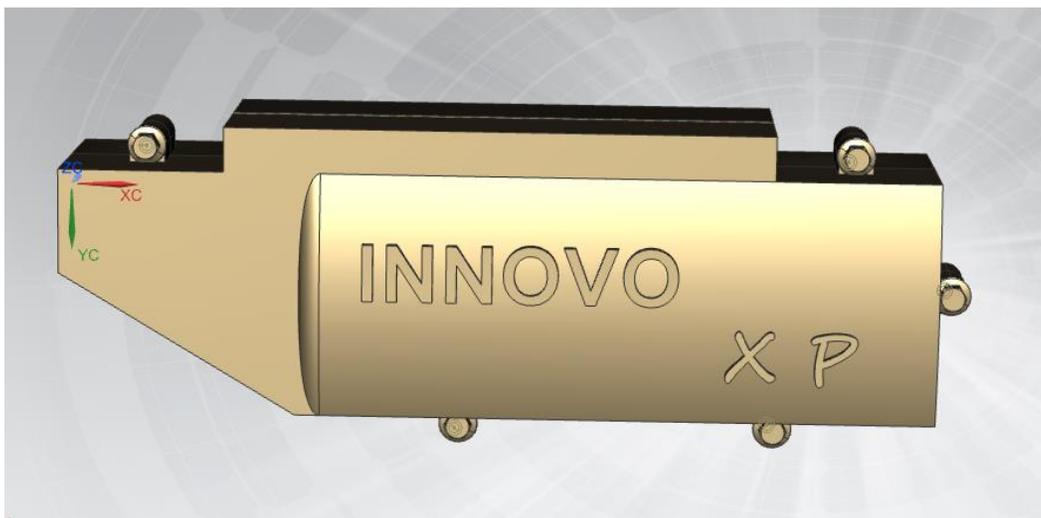


Figura 74. Caja para batería
Fuente: Autor

A continuación se presenta el diseño modificado del soporte para la caja de batería, este elemento forma parte del cuadro principal y se encuentra en la parte central del tubo superior de la estructura.

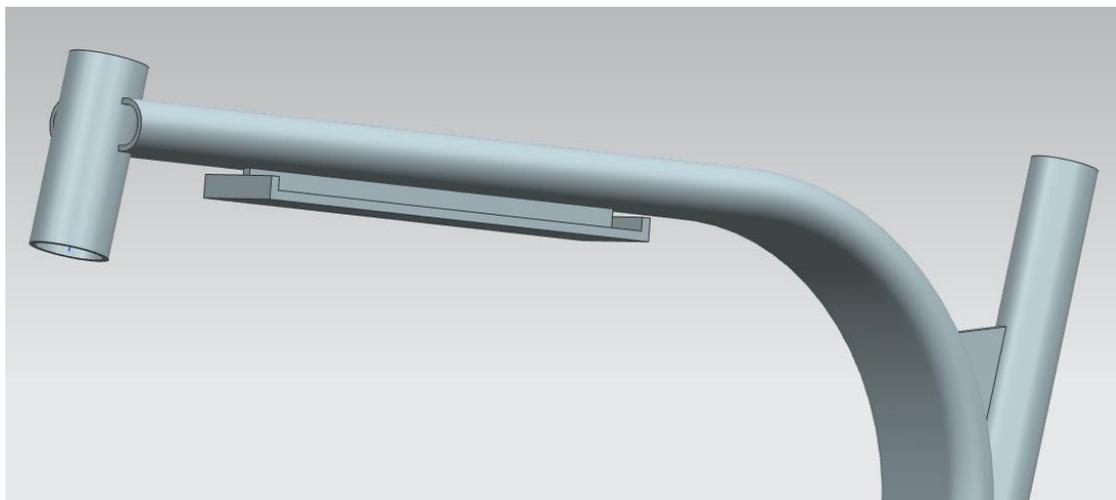


Figura 75. Soporte de batería modificado
Fuente: Autor

Utilizando las mismas condiciones de mallado siendo el caso de estudio el soporte modificado de la batería y despreciando la fuerza ejercida por el ciclista, se verifica el comportamiento de la carga que va a soportar la T unida al tubo principal, realizando la simulación pertinente se obtiene las siguientes condiciones de trabajo.

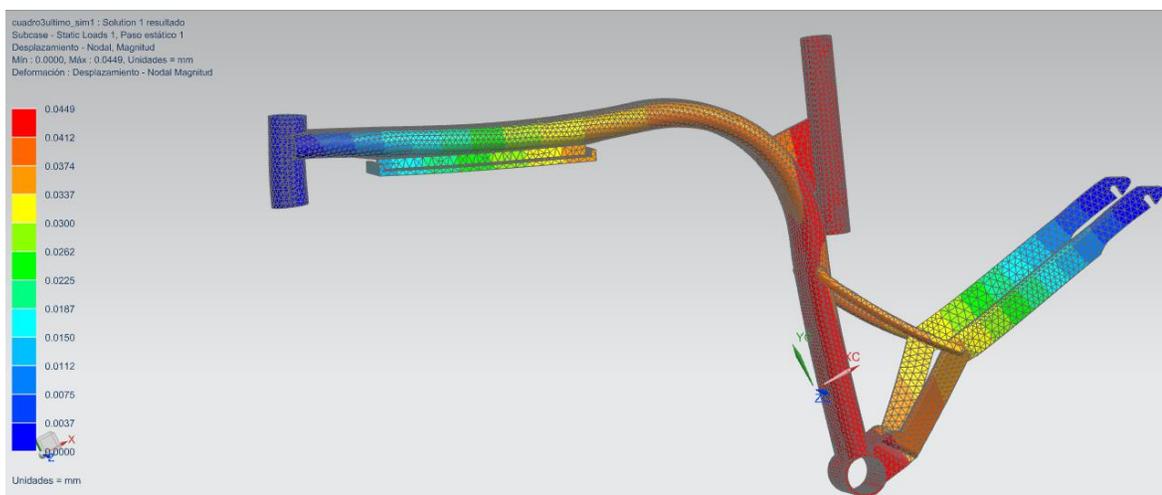


Figura 76. Resultado simulación soporte de batería modificado
Fuente: Autor

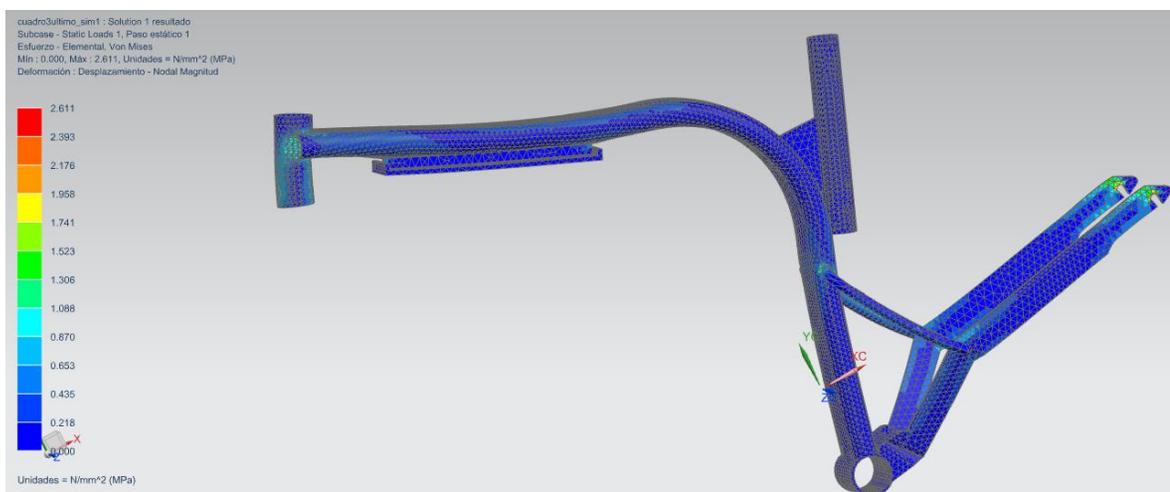


Figura 77. Resultado simulación soporte de batería modificado
Fuente: Autor

Optimización soporte batería

Para poder contrarrestar los inconvenientes que genera el peso dentro del funcionamiento del motor eléctrico de la bicicleta aportando con mayor carga y por ende más consumo de energía, se plantea la siguiente propuesta como medio de mejora entorno al diseño de este componente con lo cual se estable nuevas condiciones de desempeño y mejoras para el soporte de la batería que inicialmente tiene un peso de 1.32 kg, con lo cual se pretende emplear optimización topológica para una reducción de peso sin afectar las condiciones de trabajo ni tampoco la carga que soportara dicho elemento. Con los criterios adecuados se establecen las condiciones iniciales de las cargas a soportar en este componente.

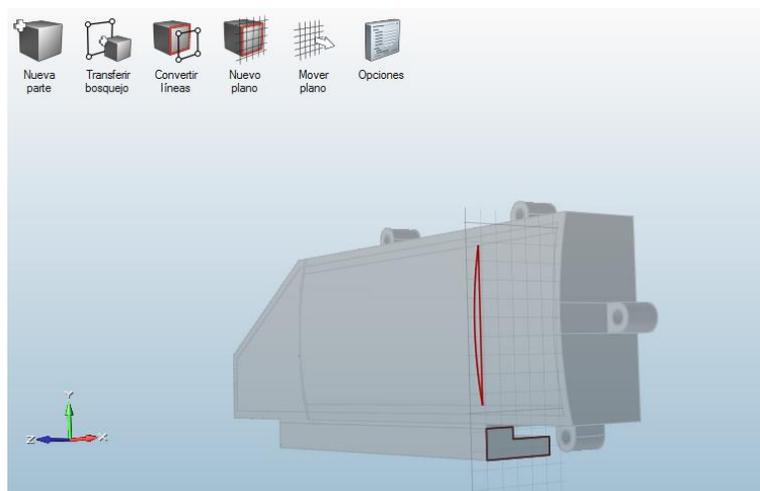


Figura 78. Entorno de diseño para optimización con rigidez máxima.

Fuente: Autor

Para poder empezar con la optimización es necesario considerar las cargas a las cuales va a estar expuesto el soporte de la batería que tendrá un peso 4 kg, así como también las fijaciones mediante perno para unir las dos tapas del soporte, se establece un punto fijo en la parte superior del componente lugar en el cual va a estar sujeto al cuadro de bicicleta. Dentro de los parámetros de configuración se debe tomar un solo plano de

simetría debido a que no todas sus caras son simétricas, también se establece la gravedad en el eje (-) para mejor interpretación de condiciones de funcionamiento.

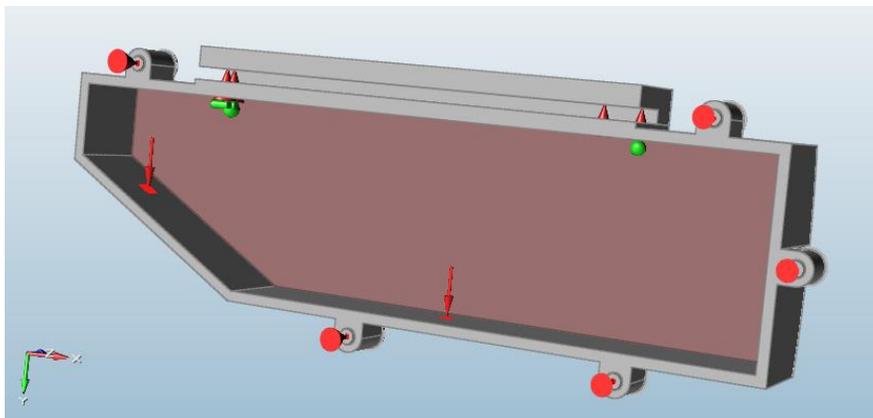


Figura 79. Condiciones de contorno
Fuente: Autor

Posterior al proceso de configuración se realiza simulación para optimizar parte, todo lo que corresponde al soporte de la batería sin tomar en cuenta la fijación, de lo cual se obtiene el siguiente resultado.

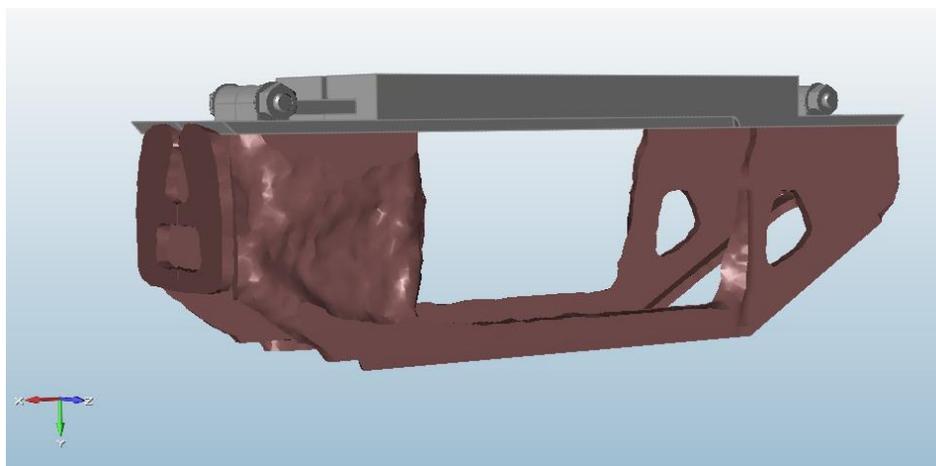


Figura 80. Resultado optimización de rigidez máxima
Fuente: Autor

Debido al resultado obtenido mediante la simulación se logra eliminar material no necesario sin afectar la rigidez del soporte ni su funcionalidad, sin embargo los resultados

se muestran con una masa que requiere la realización de rediseño en la estructura optimizada. Mediante la herramienta de edición en el entorno del software se ejecuta el modelado final, para lo cual se inicia con la cara simétrica, para posteriormente aplicar la función espejo lo que facilita la realización del objeto, de igual manera se trabaja con las caras laterales del componente.

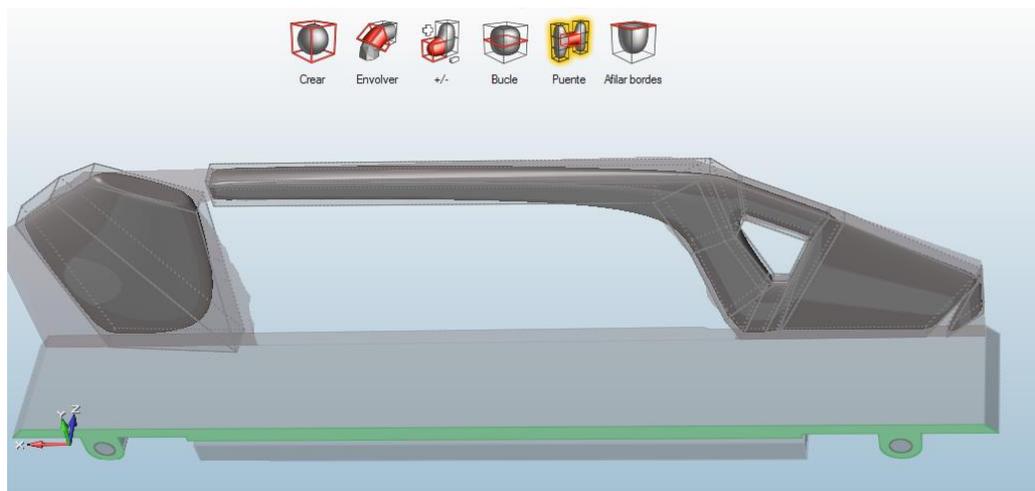


Figura 81. Modelado de soporte modificado
Fuente: Autor

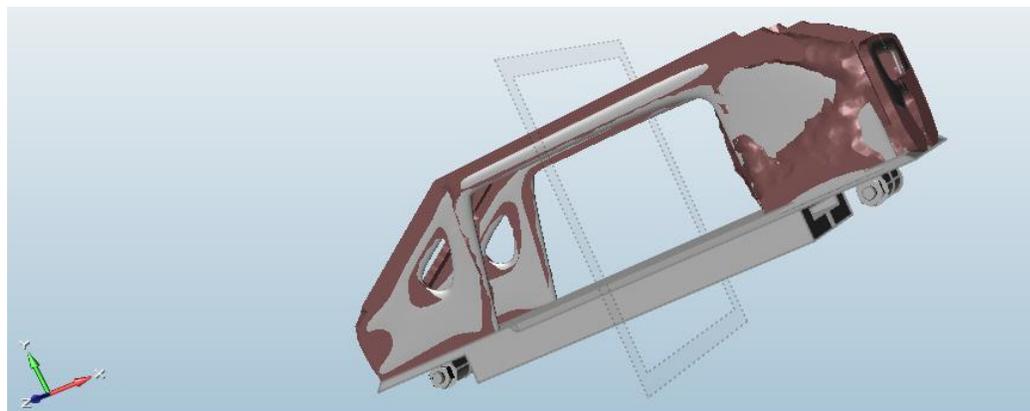


Figura 82. Resultados de optimización vs modelado final
Fuente: Autor

Mediante la realización de los procesos de edición con base en el rediseño del elemento optimizado se obtiene el soporte modificado con sus comportamiento estructural inicial no alterado.

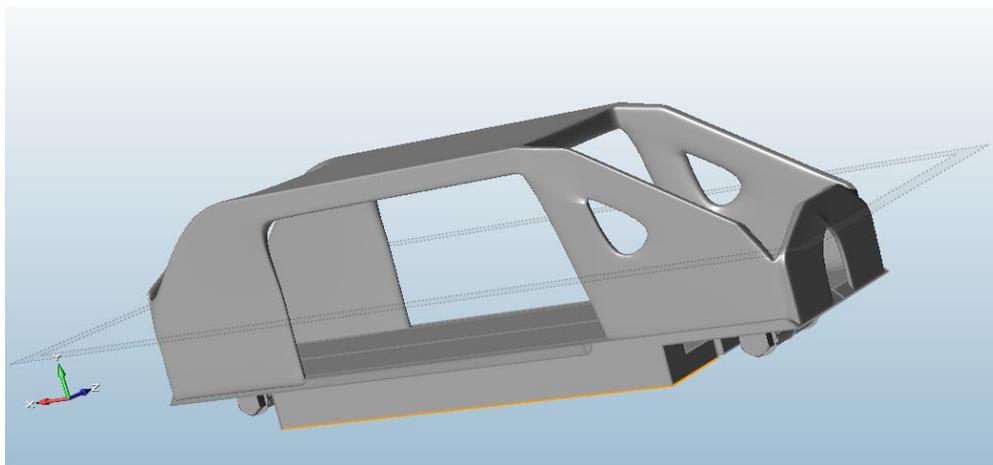


Figura 83. Modelo final soporte batería
Fuente: Autor

Análisis y discusión de resultados

Cuadro Bicicleta

En este apartado se presenta la discusión de los diferentes resultados obtenidos en las distintas simulaciones realizadas a la estructura del cuadro de bicicleta y al soporte de batería con sus respectivas modificaciones a lo largo de todo el proceso de diseño de los prototipos modelados.

Al empezar con el primer prototipo del cuadro de bicicleta se optó por recurrir a medios tecnológicos con la finalidad de obtener un modelo a escala con las primeras características base, de lo cual se establece un análisis visual en el comportamiento de la estructura, encontrando elementos con puntos críticos detallados a continuación:

Los dos largueros que soportan la rueda posterior están sometidos a constante movimiento y a su vez representan el único punto de unión con el tubo central del cuadro, por lo tanto parte de los esfuerzos generados serán de flexión siendo necesario contar con algún elemento de tensión capaz de soportar estas cargas de lo contrario se tiene un fallo prematuro propenso a fisura.

En la unión de los largueros con el tubo del pedalier se tiene mucha presencia de material (espesor), dicho punto no está sometido a esfuerzos que afecten el comportamiento de la estructura también este exceso de material puede provocar interferencia al ensamblar la rueda posterior al cuadro.

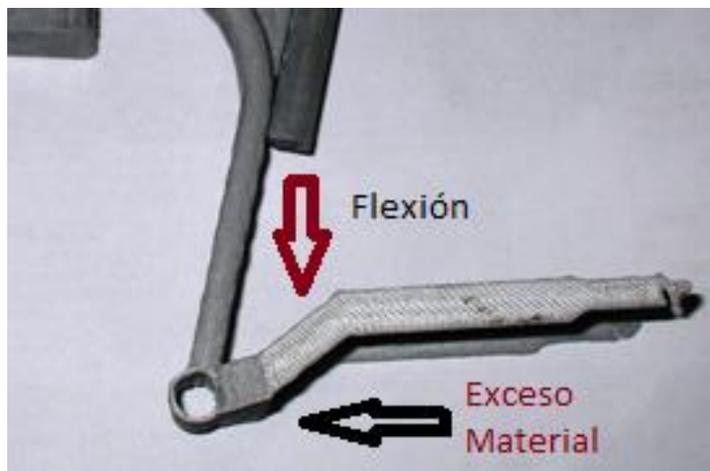
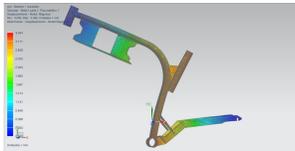
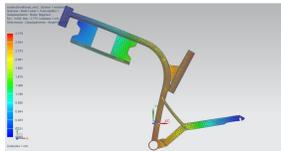
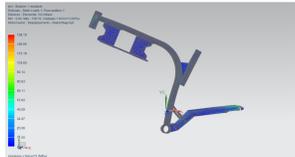
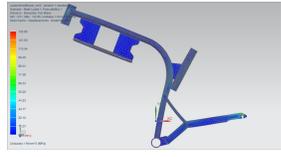


Figura 84. Puntos críticos en prototipo 1 no funcional.
Fuente: Autor

En base a las mejoras realizadas con respecto al modelo de cuadro impreso se presenta prototipo 2, con las modificaciones requeridas: ubicación de soportes en los largueros y disminución de material en exceso, con lo cual es sometido a un estudio MEF mediante análisis estático obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 21:

Resultados obtenidos en simulación estructura prototipo 2.

	Prototipo 2 Inicial	Prototipo 2 Modificado
Desplazamiento máx. (mm)	3.39	2.77
Von-mises Máximo MPa	136	132.65
Resultado Deformación		
Resultado Esfuerzo		

De manera general se puede apreciar que los valores de deformación y esfuerzo en los dos cuadros analizados es similar, la concentración de esfuerzos se presenta uniforme con alteración en la parte central del tubo principal donde se ubica el tubo del sillín presentado así la zona con mayor tensión y deformación, sin embargo la ubicación del soporte de los largueros es determinante en el comportamiento del cuadro al colocar este elemento en la parte central la deformación del elemento disminuye en 0.6 mm aproximadamente, confirmando así una mejora generada en vista de la modificación ejecutada.

De los resultados anteriores también se determina que de acuerdo al valor de carga máxima de rotura del material empleado en este caso aluminio 6063-T6 correspondiente a 245 Mpa, si se toma este dato se verifica que los valores de Von-Mises que nos muestra el programa 132.65 Mpa se encuentra por debajo de este valor máximo comparando las dos cantidades. Mediante lo cual se puede establecer que en el punto de fluencia el material de acuerdo a la carga no va a presentar fallas debido a fatiga,

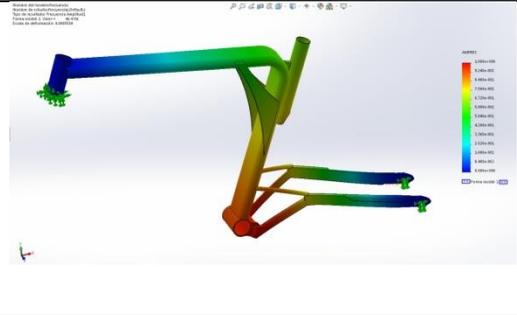
En cuanto al desplazamiento mostrado en las figuras de los resultados de la simulación del capítulo anterior, se realizan en magnitud teniendo en cuenta los tres ejes de coordenadas espaciales. Mientras que en los modelos de prototipo del cuadro de bicicleta diseñados los desplazamientos máximos se encuentran en el tubo del pedalier y tubo del sillín con valor máximo de 2.78 mm mientras que en el primer diseño analizado fue de 3.40 mm con lo cual se puede apreciar que variando los soportes se mejora notablemente el desplazamiento a considerar, sin embargo este valor encontrado al ser mínimo no representa ningún tipo de riesgo para la estructura de la bicicleta.

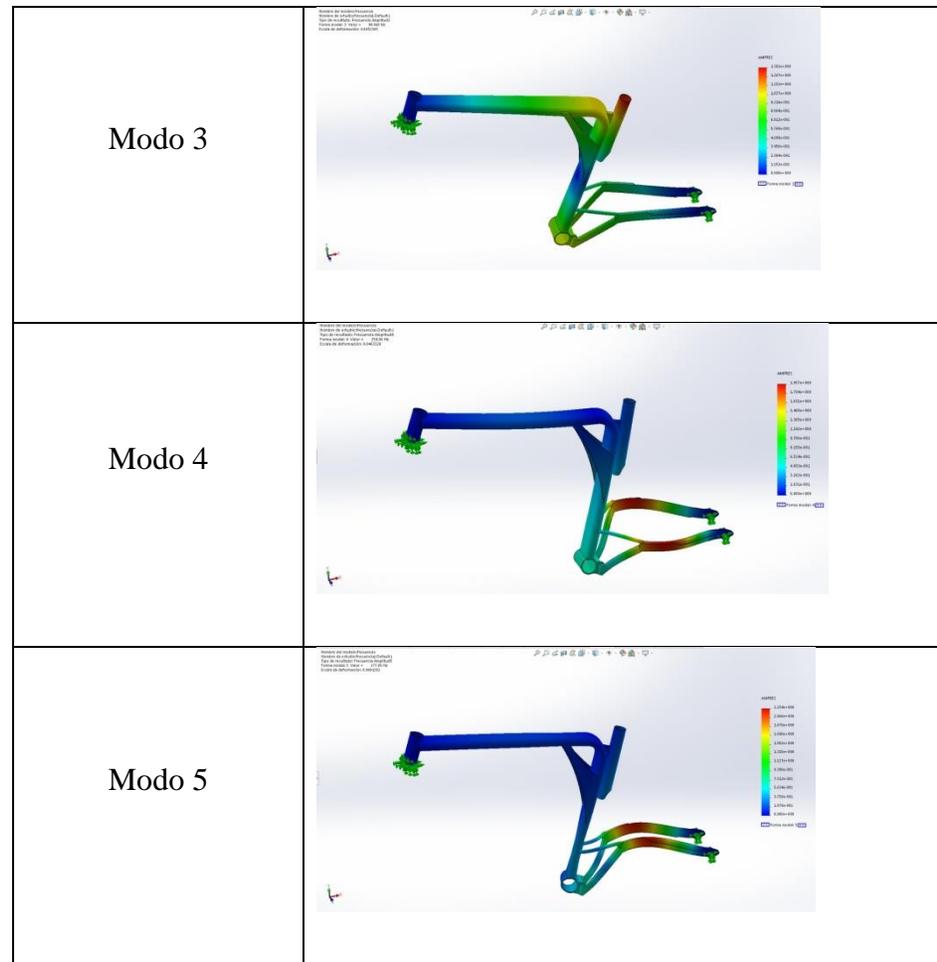
Durante el proceso de diseño, análisis y validación, surgen diferentes criterios en vista de los resultados en la estructura del cuadro de bicicleta, por lo cual se realizan modificaciones importantes que llegan a mejorar el comportamiento de la estructura en sus puntos más críticos, todos los resultados convergen que la zona principal que está expuesta a los esfuerzos máximos es la parte central del cuadro junto con los largueros de la rueda posterior, en base a dicho criterio se incluye en el cuadro dos soportes adicionales que mejoran notablemente los resultados obtenidos.

De acuerdo al análisis dinámico lineal y frecuencia ejecutada en la estructura del cuadro con la finalidad de encontrar puntos críticos en el comportamiento del componente se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 22

Resultados análisis de frecuencia

<p>Modo 1</p>	
<p>Modo 2</p>	



Nota: Los modos corresponden al número de frecuencias ingresado en las configuraciones de contorno para realización de la simulación.

Fuente: Autor

De las gráficas anteriores resultantes del estudio de frecuencia se obtiene las condiciones de frecuencia naturales del comportamiento de la estructura, cada modo equivale a una frecuencia resultante, debido a la configuración inicial de la simulación se ejecutó para 5 frecuencias es decir los 5 modos representados en los resultados anteriores, los diferentes puntos críticos representan las vibraciones generadas en la estructura siendo las zonas rojas las propensas a mayor efecto y las azules las de menor impacto. Los resultados de este análisis son claros al no establecer cargas puntuales iniciales estos se muestran a modo de comportamiento natural de la estructura por lo que no arrojan

resultados de cargas, sin embargo de las gráficas obtenidas se puede deducir que existe flexión en la zona central del tubo como se aprecia en el modo 1 y 2, mientras tanto en los modos 4 y 5 se aprecia una notable torsión de los largueros posteriores. De los resultados arrojados se establece mejorar la condición de los largueros posteriores con dos soportes adicionales para liberar tensiones en el componente.

Al realizar análisis dinámico lineal se puede conocer las condiciones de modo naturales vibratorias que se generan a partir de las cargas a las cuales está sometida la bicicleta, debido a las cargas remotas existentes en el soporte de la horquilla delantera se puede definir que debido a la fuerza establecida en este punto de valor moderado no afecta las condiciones resultantes vibratorias en esa zona del cuadro, mientras que en la parte del tubo principal zona central se concentran mayor parte de las cargas vibratorias.

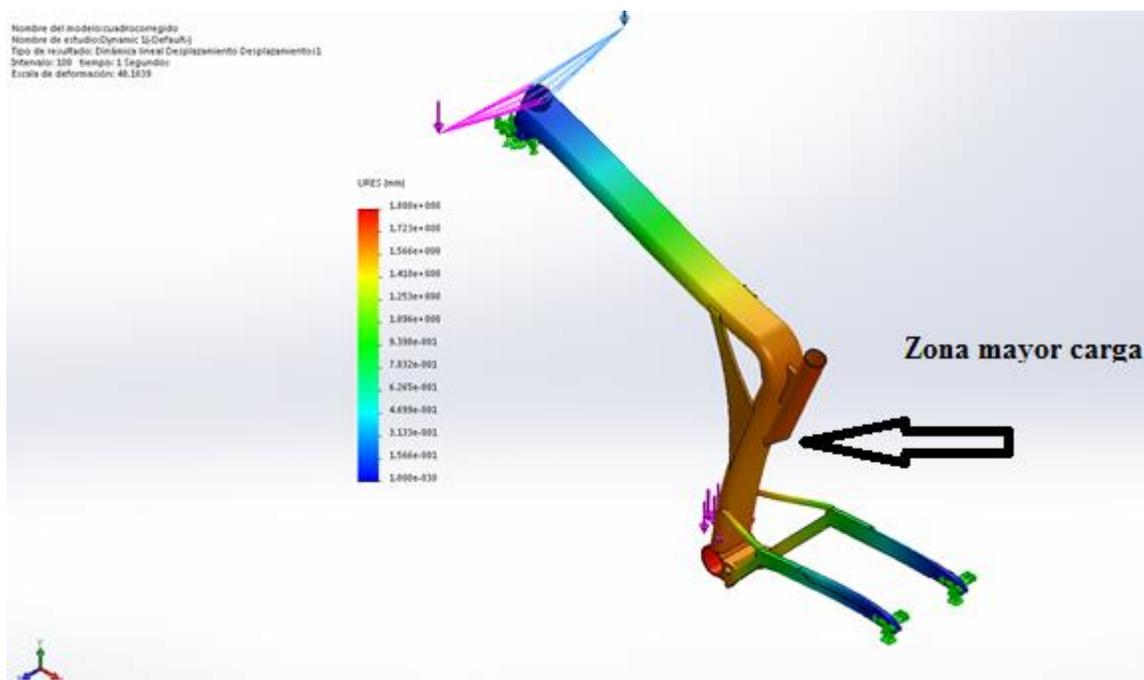
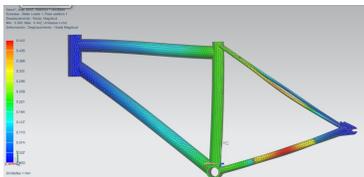
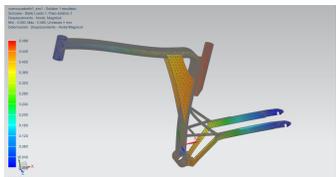


Figura 85. Resultado análisis dinámico lineal en estructura de prototipo
Fuente: Autor

Debido a las condiciones de trabajo a la cual está expuesta la bicicleta se realizó validación mediante simulación computacional, posterior a la ejecución de las primeras simulaciones, se verifico esfuerzos fuera de los parámetros ideales en el cuadro diseñado por lo cual se planifico última modificación en la estructura del mismo, se establece punto crítico en los largueros posteriores afectando la parte central del cuadro debido a fuerza ejercida en los pedales, por tal motivo se coloca dos soportes adicionales fijados al tubo central y se refuerza la unión esquinera del tubo central reforzando la zona superior. Con todos los criterios necesarios entorno a la simulación computacional realizada se tiene como resultado la siguiente tabla comparativa.

Tabla 23

Resultado comparativo análisis estático

Resultados Simulación Estática		
	Cuadro Convencional	Cuadro Diseñado
Desplazamiento máximo	0.443 mm	0.48 mm
Esfuerzo máximo	19.83 Mpa	19.37 Mpa
Punto Critico	Parte Central cuadro	Parte central cuadro
Resultado deformación		

Los valores establecidos en los resultados de la tabla anterior muestran que existe una $\pm 15\%$ de diferencia entre las condiciones críticas del cuadro convencional

respecto al diseñado lo cual representa un parámetro de confiabilidad en el diseño del cuadro al referirse a las cargas estáticas soportadas. Durante el trayecto y la obtención de los primeros resultados se verifican condiciones vulnerables a las cuales puede estar expuesto el cuadro de bicicleta, en base a principios de diseño establecidos y con ayuda de herramientas que contribuyen con la mejora del desarrollo del proyecto se modificó partes esenciales del diseño preliminar. Se verifica que el comportamiento de las cargas presentes en un cuadro de bicicleta está concentrado en la zona de carga principalmente debido al peso del conductor por lo que se convierte en el punto más crítico durante el diseño, de lo cual se aprecia los puntos a considerar en cuanto a resultados se puede apreciar notablemente la mejora en el comportamiento del mismo en torno a los diseños preliminares. Con todas las adecuaciones y los cambios realizados a continuación se presenta el modelo final del cuadro diseñado mediante estudio de renderizado en entorno real y con utilización de modelo virtual de un humano, se puede observar la posición del mismo respecto al cuadro manteniendo las condiciones iniciales de diseño se tiene un postura de la espalda recta con los brazos flexionados con lo cual se cumplen las condiciones establecidas durante este estudio.



Figura 86. Modelo final de cuadro de bicicleta validado con modelo humano.
Fuente: Autor

La siguiente tabla muestra los resultados finales obtenidos mediante estudios de elementos finidos generados a través de medios computacionales siguiendo las consideraciones adecuadas para las configuraciones de contorno.

Tabla 24

Resultados finales

Prototipo final



Deformación máxima 0.48 mm.

Esfuerzo máximo 19.37 Mpa.

En referencia a los materiales utilizados para el modelado del cuadro se establece las siguientes condiciones con las consideraciones de modificación y con uso de material existente en el medio.

Tabla 25

Dimensiones de materiales empleados en modelado de cuadro

Material Aluminio	
Tubo ovalado	1635
Liso	Espesor 9 mm
Soportes laterales	Espesor 6 mm
Placa central	Espesor 9 mm
Tubo	Exterior 10.28 mm
	Interior 7 mm

Soporte Batería

Respecto al soporte de la batería modificado durante el modelado se pudo verificar que los valores encontrados mediante la simulación MEF, que representan desplazamiento y carga respectivamente fueron de siendo 0.045 mm y 2.61Mpa, al ser mínimos en su totalidad no representan ninguna desventaja en el comportamiento del cuadro por lo que se puede deducir que el perfil en T realizado soporta plenamente la carga de la batería en virtud de su longitud y espesor considerado.

Tabla 26:

Resultados obtenidos en simulación soporte de batería modificado.

Fuerzas de acción	Soporte batería
Desplazamiento max (mm)	0.045
Desplazamiento min (mm)	0.0
Von-mises Máximo MPa	2.61

Crterios Generales de los resultados

Parte del diseño es motivar la introducción de nuevas herramientas que faciliten la creación de posibles mejoras en torno a la idea principal como tal, un punto crítico establecido en el desempeño de cualquier medio de impulsión siempre será la carga a la cual se encuentra expuesto, con base en lo anterior se realizó modificación del soporte de la batería recalando que no fue un componente modificado a la ligera, se ejecutó con ayuda de software especializado empleando condiciones fundamentales de comportamiento mecánico del trabajo al cual está expuesto el soporte de batería. Esto establece como resultado la reducción del material en un 25% menos del peso inicial sin la afectación del comportamiento de la estructura con lo cual se garantiza su correcto desempeño al estar acoplado al cuadro.

Con el presente estudio se puede apreciar que en la actualidad existen diversos materiales y aleaciones utilizadas en la fabricación de las bicicletas en otras partes del mundo, considerando que los materiales y medios de producción son de más fácil acceso debido al desarrollo tecnológico presente en otras partes del mundo, con técnicas o

procesos al más alto nivel reducen significativamente los costos adquisitivos de los mismos.

Durante el modelado del cuadro de bicicleta es fundamental contar con un desarrollo constante en este campo del diseño que aun en nuestro país se encuentra muy limitado, esto se ve reflejado por la cantidad de componentes y partes de los cuadros importados al país con marcas de prestigio y de alto desempeño, aunque es mínima la cantidad de bicicletas eléctricas existentes en el país y su baja demanda en razón de los altos costos, el presente estudio podría representar un aporte para la construcción de un prototipo funcional mediante uso los medios tecnológicos existentes en nuestro medio con fines productivos.

Los nuevos medios tecnológicos aportan con el pre diseño y fabricación de cualquier componente, siendo el caso de la impresión 3D debido a los bajos costos operativos y de producción se facilita poder tener un diseño a escala, que permita modificar parámetros de desempeño o condiciones a las cuales el cuadro de bicicleta en este caso sería vulnerable.

La bicicleta se mantiene como un medio de transporte con varias ventajas en comparación a otros medios utilizados para trasladarse de un lugar a otro. Siendo en este caso un elemento libre de contaminación con el entorno, aporta con la disminución del consumo de energía y las emisiones, posibilita la mejorar en el flujo de tráfico, así también con ayuda de los componentes electrónicos representa una alternativa de movilidad. En conclusión si se dispone de los medios adecuados y los materiales como el aluminio en nuestro país, que en la mayoría de los casos su aplicaciones se da para la industria de la construcción, esto al referirse a producción local de aluminio en perfiles

estructurales, sería fundamental poder ampliar este tipo de mercado con nuevos componentes o aleaciones que posibiliten la producción local de partes o autopartes como uso de materia prima. Con esto se abre la posibilidad de realizar mayores propuestas en virtud del campo en estudio.

Bibliografía

- Alvarez, R. (s.f.). Diseño de un modelo para el bicig. *Universidad Politecnica de Cataluna*.
- Avila , R., Prado, L., & Gonzales, E. (s.f.). Dimensiones antropometricas de poblacion Latinoamericana. *Universidad de Guadalajara*.
- Benitez, A., & Sanchez, J. (2014). Adaptación de un Sistema Electro-Mecánico Motriz a una Bicicleta. *Universidad San Francisco de Quito* .
- bitech*. (Abril de 2016). Obtenido de http://www.bitech.es/blog/16_la-rueda-perfecta-para-el-enduro.html
- Candal. (s.f.). Integración CAD/CAE/CAM-PR en la optimización del diseño. *Ciencia y tecnologia* .
- Champoux, Richard, & Drouet. (2007). *Bicycle Structural Dynamics*. Université de Sherbrooke.
- Cortassa, M. (2015). Simulacion numerica de ensayos para bicicletas de montana. *Universidad Nacional de Cordoba*.
- Cristopher, K., Hanna, I., Messenger, S., & Travis, C. (2015). Finite Element Analysis. *PennState College of Engineering*.
- Ecuacycles. (2016). GTI Catalogo.
- ElectroBike. (s.f.). Obtenido de <http://electrobike.com.ec/>.
- Emeb. (2016). *Escuela emeb*. Obtenido de <https://www.emeb.es/medidas-de-neumaticos-de-bicicleta/>
- Galeano, E. (2017). Analisis de Modo y efecto de falla en el proceso de extrusion. Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas.
- Georgetti, M., Ruch, M., & Fava, J. (2011). Inspeccion de cuadros de mountain bike. *AAENDE*.
- Gese, F. (2013). Estudio mediante elementos finitos de. *Universidad Carlos III de Madrid*.

- IEA. (2017). *Asociación Internacional de Ergonomía* . Obtenido de <http://www.iea.cc/whats/index.html>
- Igor , G., & Juan, G. (s.f.). Ventajas e inconvenientes de ajustar la bicicleta tomando como referencia las medidas corporales. *Fundacion Ciclista Euskadi*.
- Instituto Tecnológico de producto infantil y ocio . (2009). *Aiju*. Obtenido de <http://www.aiju.info/proyectos/tecnologias-clave/tecnologias-de-la-informacion-tic/optiparc-desarrollo-y-validacion-de-herramientas-que-optimizan-el-diseno-en-juegos-de-actividad-para-uso-domestico-de-interior-y-exterior>
- Longas, H. (2016). Altura Media por paises . *El Pais*.
- Lopez, J. (2015). Diseño de una Bicicleta de Montana . *Universidad de Malaga*.
- Moreta, C. (2016). *Diseño e implementación de un prototipo de bicicleta impulsada por un sistema de potencia neumático controlado electrónicamente*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Pacheco, M. (Marzo de 2017). La bici pública opera con el 67.7% de su flota. *El Comercio* .
- Pita, M. (Abril de 2017). Investigación de cuadros de bicicletas. (A. Torres, Entrevistador)
- Poch, D., & Blanco , J. (s.f.). Diseño de una bicicleta eléctrica con cuadro adaptable. *Ingeniería técnica industrial esp. Mecánica. Departamento de Ingeniería Mecánica*.
- Ponton, P., & Guerrero, V. (2010). Obtención de Materiales Compuestos de Matriz Poliéster reforzados con Fibra de Abacá mediante Estratificación manual. *Revista tecnologica ESPOL*.
- Ramirez, J. (2017). *La Bicikleta*.
- Renishaw. (s.f.). Firts Metal 3D printer bicycle frame manufactured by Empire Cycles.
- Rojas Lazo, O., & Rojas Rojas, L. (s.f.). Diseño asistido por computador. *UNMSM*.

- Romeo, J. (2010). *Diseño de cuadros de bicicletas de montaña*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación.
- Saez, M. (s.f.). Ergonomía de la bicicleta de montaña.
- Sanferbike. (Marzo de 2017). Obtenido de <http://www.sanferbike.com/videostv/cuadro-de-bicicleta/>
- Secretaría, A. (2016). *Informe de la calidad del aire*. Quito: Municipio del Distrito Metropolitano de Quito.
- Cedeño, E. A. L., Alvear, P. S., Zurita, D. P., Yáñez, Y., & Gutiérrez, R. (2017). Estudio y evaluación de factibilidad del uso de energías alternativas para la estación SEK Limoncocha en Ecuador. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 4(3), 83-91.
- Siemens. (2013). Obtenido de http://www.plm.automation.siemens.com/es_sa/plm/cae.shtml
- Solana, A., & Estrenera, V. (2014). Cuadro de Bicicleta en material compuesto. *Escuela Técnica Superior de Ingenieros industriales y de Telecomunicación*.
- Sorgato, V. (10 de Junio de 2016). Seis Urbes en Ecuador se exceden en contaminación ambiental, según OMS. *El Comercio*.
- Todomountainbike. (2016). Obtenido de <https://www.todomountainbike.net/art/nociones-basicas-sobre-la-geometria-de-una-bicicleta-el-offset-y-trail-de-la-horquilla>
- Trejo, D., & Chavez, D. (2013). Modelado y análisis del chasis de una bicicleta. *Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y eléctrica*.

ANEXOS

INNOVO XP

