

Diseño e implementación de un cuadro para una bicicleta eléctrica

Mariano Nicolás Martino, Diego Andrés Aligia, Sergio Fabián Antonelli

Grupo de Electrónica Aplicada, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina. Email: daligia@gmail.com

Laboratorio de Máquinas Térmicas e Hidráulicas (LMTH) Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina. Email: santonelli@ing.unrc.edu.ar

Resumen

Este trabajo consistió en el diseño y materialización de un cuadro para una bicicleta eléctrica, el cual será utilizado en materia de investigación universitaria. Se realizó en el marco de una beca de ayudantía de investigación por un alumno avanzado de ingeniería mecánica de la Universidad Nacional de Río Cuarto. Se llevó a cabo el diseño de un cuadro de aluminio para cicloturismo que soporte un motor eléctrico, un banco de baterías en su interior, su BMS y un controlador electrónico especialmente desarrollados. Se realizaron estudios estáticos y de fatiga del cuadro según Normas ISO e IRAM utilizando una herramienta de diseño y cálculo computacional. Este desarrollo, a diferencia de otros diseños basados simplemente en una bicicleta de tracción a pedal con un kit eléctrico de conversión incorporado, contempla en su diseño aspectos mecánicos como la masa suspendida del motor de rueda y del banco de baterías que se agregan al conjunto y generan inestabilidad, dificultades al maniobrar, desgastes prematuros, menor confort de marcha o fallas.

Palabras clave: bicicleta eléctrica; cuadro de aluminio; motor de rueda.

Abstract

This work consisted of the design and materialization of a frame for an electric bicycle, which will be used in university research. It was carried out within the framework of a research assistantship scholarship for an advanced mechanical engineering student from the National University of Río Cuarto. The design of an aluminum frame for bicycle touring was carried out that supports an electric motor, a battery bank inside, its BMS and an electronic controller specially developed. Static and fatigue studies of the frame were carried out according to ISO and IRAM standards using a computational design and calculation tool. This development, unlike other designs based simply on a pedal-driven bicycle with a built-in electric conversion kit, includes in its design mechanical aspects such as the sprung mass of the wheel motor and the battery bank that are added to the set and they generate instability, difficulties when maneuvering, premature wear, less ride comfort or failures.

Keywords: electric bike; aluminum frame, engine of wheel.

1. Introducción

Las bicicletas eléctricas representan una alternativa frente a problemas actuales como la contaminación ambiental y la congestión vehicular [1]. Está en auge la utilización bicicletas de cicloturismo, dado que combinan la comodidad de una urbana con las prestaciones de una mountain bike y permiten su uso en múltiples caminos. Además, se implementa en muchas de estas un sistema de tracción eléctrico que brinda al usuario asistencia al pedaleo, una gran ventaja

al momento de transitar pendientes o grandes distancias.

Actualmente, se comercializan una limitada variedad de bicicletas eléctricas en el mercado argentino. La gran mayoría son importadas o muchos de sus componentes lo son y la posibilidad de adquirirlas se ha hecho más difícil en los últimos años dadas las dificultades de importación en nuestro país y los elevados precios. Por otra parte, muchos diseños se basan en un cuadro convencional al que se le agrega un “gabinete” que contiene las baterías y el controlador lo

cual no es muy aceptado estéticamente por los usuarios [2]. Otros diseños incorporan estos componentes en el interior del cuadro, pero suelen ser algo futuristas, no siguen tendencias del mercado y en muchos casos son muy costosos [3]. En ningún caso de los mencionados se comercializa el cuadro individualmente del resto de la bicicleta.

En este proyecto se desarrolló un cuadro para soportar un motor eléctrico de 350W en el eje trasero y, en el interior de uno de los caños de su estructura, un controlador, un BMS y un banco de 52 celdas de litio del tipo 18650 teniendo en cuenta un diseño estético y apto estructuralmente para las prestaciones de uso mixto al cual será sometido. Se logró un peso de 2,5 kg, un valor óptimo para este tipo de cuadros comparándolo con cuadros standard comerciales de aluminio y los desarrollos referidos anteriormente (Tabla 1); y una distribución de masa estratégica para evitar comportamientos indeseados en el andar, lo que no se tiene en cuenta al adaptar kits sobre bicicletas comunes. Este tipo de cuadros no se consiguen en el mercado actualmente y además permite montar de manera adecuada la parte electrónica de la bicicleta.

Tabla 1	
Cuadro - Material	Peso [Kg]
Cuadro propio (Aluminio 6061, 5086)	2,5
Venzo Stinger (Aluminio 6061)	1,96
Referencia [2] (Aluminio 6061)	16,6
Referencia [3] (Acero ASTM A36)	5,2

Fuente: elaboración propia.

Se materializó con caños de aluminio aleado 6061 T6 y chapas de aluminio 5086 dado que permite producir estructuras de menor peso (un 25% menos) y prestaciones comparables respecto del acero SAE 1020 comúnmente utilizado (Tabla 2). Además, es el material más utilizado actualmente dada su relación precio / prestaciones y su fácil fabricación si se compara con materiales compuestos [4].

Tabla 2	
	Tensión de fluencia
Acero IRAM F26	260 Mpa
Aluminio 6061 T6	276 Mpa
Aluminio 5086 HX4	276 Mpa

Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, se eligió el sistema de tracción con motor de rueda el cual permite transitar en una gran variedad de caminos con un costo del 30% o incluso menor respecto a motores de pedaliar comúnmente utilizado en bicicletas de este estilo de gama más alta. Como desventajas de utilizar un motor de rueda se pueden mencionar dos importantes: no permite hacer un manejo mountain bike más extremo (por los daños que se podrían producir en el motor, el cual soporta

prácticamente todos los movimientos de la rueda sin atenuación de la suspensión) y además no permite utilizar el sistema de cambios para la tracción eléctrica (solo para el aporte del ciclista).

El desarrollo del cuadro permite darle un marco al proyecto de electrónica desarrollado por un grupo de investigación ubicado en la Universidad en la que los autores de este trabajo estudian / trabajan (Grupo de Electrónica Aplicada (GEA)) y une los conocimientos de Ingeniería Mecánica con Ingeniería Electricista (dictadas en esta Universidad) en un proyecto. Los resultados de este trabajo en conjunto permitirán obtener datos para el desarrollo del prototipo en conjunto brindando la posibilidad de futuros vehículos eléctricos que puedan ser utilizados por usuarios particulares como un medio de transporte alternativo de bajo costo de adquisición y uso.

El presente trabajo se organiza en las siguientes secciones: en la sección 2 se explican las bases para la elección del tipo de bicicleta y a partir de esto, las partes comerciales utilizadas. En la sección 3 se exponen consideraciones tenidas en cuenta para el dimensionamiento de la estructura, diseño y selección de materiales. Posteriormente, la sección 4 detalla las normativas utilizadas para ensayar la estructura y en la sección 5 los resultados obtenidos por MEF. En la sección 6 se explican los métodos de fabricación utilizados. Una vez alcanzados satisfactoriamente los objetivos del proyecto se procedió a realizar la fabricación del cuadro para lo cual se analizaron los posibles procedimientos de fabricación que satisficieran los requisitos estructurales planteados y además fueran factibles de ser realizados en la ciudad de Río Cuarto. Se destaca en el proyecto el corte láser, corte por router, mecanizado y/o plegado de cada una de las piezas que componen la estructura, así como el proceso de soldadura mediante método TIG.

Finalmente, en las últimas tres secciones tratadas se exponen resultados obtenidos, conclusiones y anexos. El trabajo culmina con el armado de la bicicleta utilizando partes comerciales adquiridas en el marco de la beca y colocándole la electrónica en una segunda etapa. No se utilizaron partes comerciales en el cuadro. Se harán una serie de pruebas con el conjunto armado en ciudad y en caminos rurales para determinar su comportamiento.

2. Análisis y elección del tipo de bicicleta y sus componentes

En primera instancia se analizaron dos alternativas en cuanto al tipo de bicicleta que se va a desarrollar. Por un lado, una posibilidad de proyectar una bicicleta tipo todoterreno y por el otro de uso urbano. Teniendo en cuenta que para un uso todoterreno se debería emplear un motor de pedaliar (dadas las inercias que genera un motor de rueda) se descartó la posibilidad debido al costo de este tipo de sistema, unas 3 veces más elevado en comparación al sistema seleccionado. Luego de un

estudio de las necesidades del proyecto, el presupuesto disponible y el posible mercado que tendría, se optó por desarrollar una bicicleta de cicloturismo, como se mencionó antes, que se encuentra en gran auge actualmente y permite el uso de un motor de rueda para transitar por una amplia variedad de caminos y condiciones. De esta manera se adaptó al presupuesto, la disponibilidad de materiales, mano de obra y tecnologías accesibles en la ciudad que se llevó a cabo el proyecto lo que le da al diseño una ventaja si se quisiera fabricar en serie con un costo competitivo en el mercado.

Tras dicha elección, se seleccionó un motor de 350W de tipo “brushless” que carece de escobillas y tiene una eficiencia mayor que los motores de corriente continua (ya obsoletos) lo que permite un notable ahorro de energía al tener menor fricción. Además, el motor es “geared” ya que cuenta con un motor interno de alta velocidad que actúa junto a un sistema de engranajes planetarios de teflón (el único modelo que se consigue fácilmente en el país) lo que permite menor peso, mayor eficiencia y mayor par que los motores de rueda tradicionales de muchos pares de polos.

Las baterías seleccionadas son 52 celdas 18650 de litio (3,7 V y 3,5 Ah, las cuales se conectan en series y paralelos para formar una batería de 48 V 14 Ah). El BMS de la batería y el controlador electrónico del motor están siendo desarrollados por el Grupo de Electrónica Aplicada de la Universidad.

Por otro lado, el resto de las partes de la bicicleta se adquirieron en un comercio local para definir ciertas medidas que determinarían importantes dimensiones del cuadro y además para utilizarlas en el ensamblaje final.

3. Consideraciones estructurales

Para el dimensionamiento del cuadro se tuvieron en cuenta las medidas de un talle M dado que es la talla que más se ajusta al promedio de usuarios de nuestro país con una altura promedio de 174 cm [5], un tamaño de rodado de 29” debido al confort que brinda al usuario y la agilidad de transporte, frenos hidráulicos y 21 velocidades.

Como se muestra en la figura 1, el cuadro cuenta con una cavidad para el alojamiento del banco de baterías nombrado anteriormente así como el resto de los componentes electrónicos.



Figura 1. Disposición de las baterías de litio y el controlador en el cuadro. Fuente: elaboración propia.

Se materializó en aluminio 6061 T6 y 5086 HX4, una aleaciones comerciales que se encuentran fácilmente en el mercado, de buena mecanización, plegado y soldadura y ampliamente utilizadas en este rubro. Está provisto como caños y chapas 1,6 mm y 6 mm de espesor logrando un peso final de 2,48 kg.

Para realizar un predimensionamiento de la estructura se utilizaron las medidas y ángulos correspondientes al talle M seleccionado para posicionar cada una de las partes del cuadro (fig. 2). Además, se obtuvieron datos de espesores y medidas de caños de aluminio 6061 T6 más comúnmente utilizados en piezas de cuadros para bicicletas de este tipo (Fig. 3) y disponibles en el mercado para luego optimizar mediante estudios posteriores.

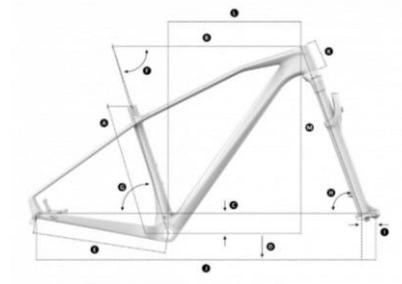


Figura 2. Geometría de un cuadro de bicicleta MTB. Fuente: José Carlos Pedrero. “Geometría de un cuadro de bicicleta”, 2018.



Figura 3. Partes del cuadro de bicicleta. Fuente: elaboración propia.

Referencias:

- 1- Caño Aluminio 6061 T6 50x5mm
- 2- Caño Aluminio 6061 T6 44x2mm
- 3- Caño Aluminio 6061 T6 32x2mm
- 4- Caño Aluminio 6061 T6 19x2mm
- 5- Chapa Aluminio 5086 6mm
- 6- Redondo Aluminio 6061 T6 50mm
- 7- Chapa Aluminio 5086 1,6mm



Figura 4. Representación CAD de la bicicleta eléctrica desarrollada. Fuente: elaboración propia.

4. Métodos de análisis estructural

Para el diseño y cálculo mecánico del cuadro se utilizó la Norma IRAM 60020 [6] que remite directamente a la Norma ISO 4210-6: 2014 [7]. Se realizan una serie de estudios estructurales (de frecuencia, estáticos y de fatiga) utilizando una herramienta de diseño y cálculo computacional mediante Método de Elementos Finitos (MEF). A diferencia de las bicicletas convencionales, esta tuvo en cuenta en su diseño aspectos mecánicos como la masa suspendida del motor de rueda y del banco de baterías que se agregan en el conjunto y generan inestabilidad, dificultades al maniobrar, desgastes prematuros, menor confort de marcha o fallas.

La norma se basa en 4 ensayos. Dado que sólo se requería probar la resistencia del cuadro, se representó la horquilla como una pieza sólida simplificada (Fig. 5). Los ensayos dinámicos se simplificaron a casos estáticos equivalentes dado que no se cuenta con la capacidad computacional requerida en estos casos. Para llevar adelante estudios estáticos equivalentes a los dinámicos, se calcula en cada caso la velocidad final (a la que impacta el cuadro) y se determina una desaceleración casi instantánea de 0,005 segundos para representar el impacto. Se deben hacer ensayos destructivos posteriores sobre el cuadro para determinar su resistencia real en caso de que se quiera producir en serie en el futuro.

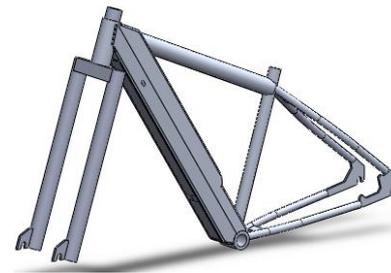


Figura 5. Modelo 3D utilizado en el ensayo por MEF. Fuente: elaboración propia.

- Ensayo de choque (caída de una masa. Fig.6): Se deja caer una masa de 22,5 kg sobre un rodillo ubicado en el extremo de la horquilla delantera desde 180 mm de altura. Para su simplificación, se calculó la fuerza máxima que hace dicha masa sobre el rodillo durante el impacto considerando que parte del reposo y se detiene en 0.005 segundos.

$$v_f^2 = v_0^2 + 2 * a * \Delta x^2$$

$$v_f = \sqrt{2 * 9,81 \frac{m}{s^2} * (0,18m)^2} = 0,7973 \frac{m}{s}$$

$$F = m * a = m * \frac{v_f}{t} = 22,5 \text{ kg} * \frac{0,7973 \frac{m}{s}}{0,005 \text{ s}}$$

$$F = 3588N$$

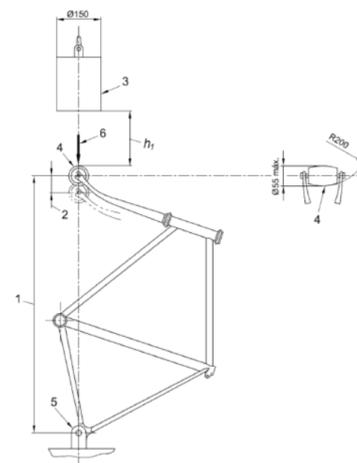


Figura 6. Ensayo de choque (caída de una masa). Fuente: Norma ISO 4210-6: 2014.

- Ensayo de choque (caída del cuadro. Fig.7): Se coloca una masa de 50 kg (3), una de 10 kg (4) y otra de 30 kg (5) y se deja caer el cuadro desde 200 mm pivotando desde el eje trasero. La simplificación se realizó obteniendo la fuerza de reacción que sufre el eje delantero al impactar teniendo en cuenta las cargas colocadas y un tiempo de impacto de 0.005 segundos.

distancia entre ejes = 1099 mm

$$x_{cm} = 455,35 \text{ mm}$$

$$P_{eje\ delantero} = 95,3 \text{ kg} * \frac{455,35 \text{ mm}}{1099 \text{ mm}}$$

$$P_{eje\ delantero} = 39,49 \text{ kg}$$

$$v_f = \sqrt{2 * 9,81 \frac{m}{s^2} * (0,2m)^2} = 0,8858 \frac{m}{s}$$

$$F = m * a = m * \frac{v_f}{t} = 39,49 \text{ kg} * \frac{0,8858 \frac{m}{s}}{0,005 \text{ s}}$$

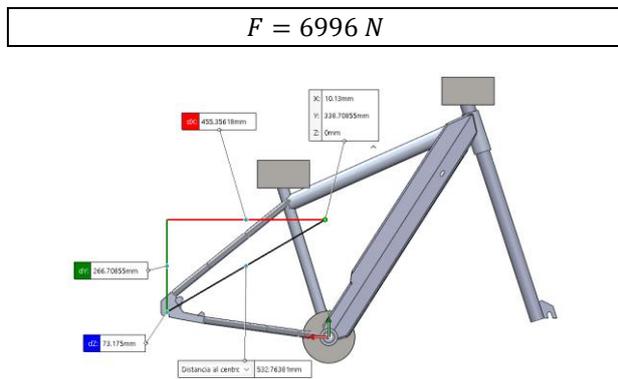


Figura 7 (a). Ensayo de choque (caída del cuadro). Fuente: Elaboración propia.

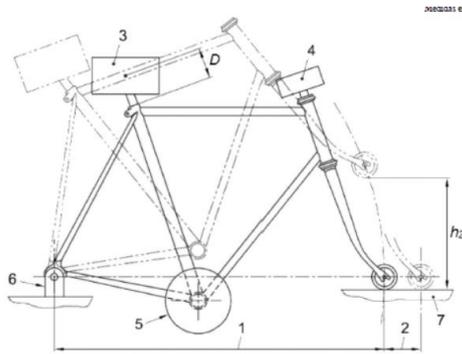


Figura 7 (b). Ensayo de choque (caída del cuadro). Fuente: Norma ISO 4210-6: 2014.

• Ensayo de fatiga sobre los pedales (Fig.8 (a) y Fig. 8 (b)): Se coloca el conjunto sobre dos pivots (1 y 2) de altura = radio de la rueda y se coloca un conjunto que simula la biela (4) vinculada mediante un tirante (6) con el eje trasero. Se aplica una fuerza de 1000 N sobre un pedal y posteriormente sobre el otro durante 100000 ciclos.

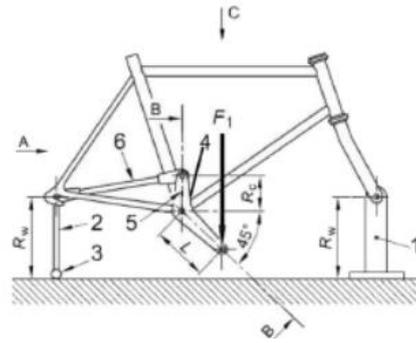


Figura 8 (a). Ensayo de fatiga con fuerzas de pedaleo. Fuente: Norma ISO 4210-6: 2014.

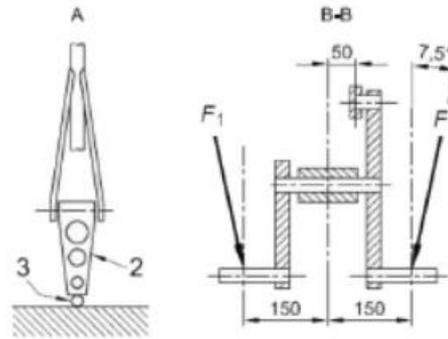


Figura 8 (b). Ensayo de fatiga con fuerzas de pedaleo. Fuente: Norma ISO 4210-6: 2014.

Como la bicicleta cuenta con suspensión en la horquilla delantera, se simuló con la longitud de la misma en vacío.

• Ensayo de fatiga para fuerzas horizontales (Fig.9): Se coloca el conjunto vinculado mediante un pivot en el eje trasero y un vínculo que permite desplazamiento horizontal y giro en el eje delantero. Se aplican fuerzas de 450 N (F2 y F3) durante 100000 ciclos.

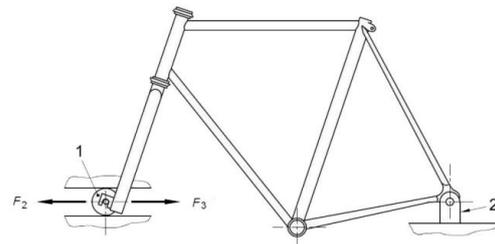


Figura 9. Ensayo de fatiga por fuerzas horizontales. Fuente: Norma ISO 4210-6: 2014.

5. Análisis por MEF

Se preparó el modelo mediante superficies tipo cáscara, de esta manera se utilizó un mallado que requiere menores recursos computacionales. El mallado es de tipo “basado en curvatura”, el cual permite lograr resultados más precisos dado que utilizaron elementos

cuadráticos para aproximar el modelo (Fig.10 y Fig. 11). Se usaron elementos de 2 a 10 mm de lado.

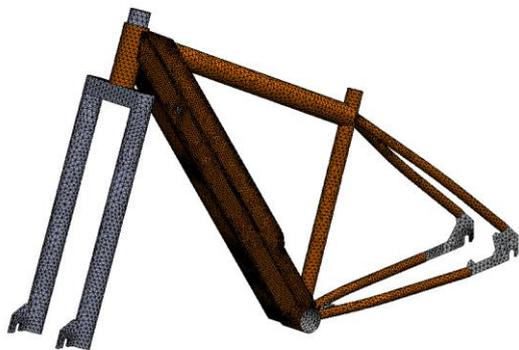


Figura 10. Mallado de la estructura. Fuente: elaboración propia.

Malla Detalles	
Nombre de estudio	Análisis estático 1 (-Predeterminado)-
Tipo de malla	Malla mixta
Mallador utilizado	Malla basada en curvatura
Puntos jacobianos	4 puntos
Verificación jacobiana para el vaciado	Activar
Tamaño máx. de elemento	10 mm
Tamaño mín. de elemento	2 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	101375
Número total de elementos	49949
Regenerar la malla de piezas fallidas con malla incompatible	Desactivar
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:20
Nombre de computadora	

Figura 11. Parámetros de malla utilizada en el ensayo. Fuente: elaboración propia.

En primer lugar, se realizó un estudio de frecuencia a fin de garantizar que los contactos se encuentren bien definidos (Fig. 12 y Fig. 13).

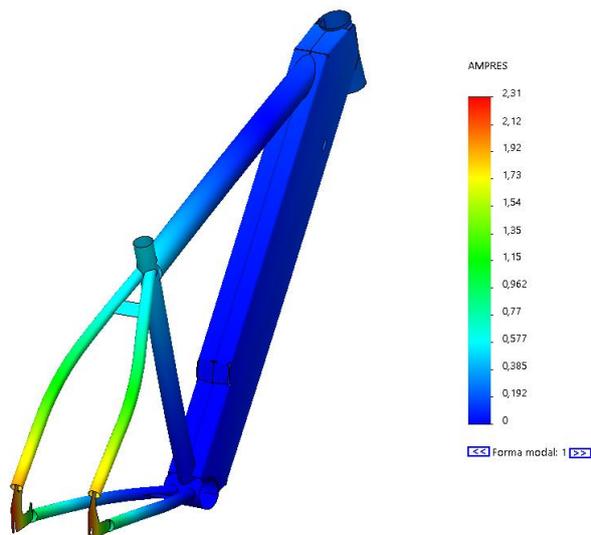


Figura 12. Estudio de frecuencia – Primer modo de vibración. Fuente: elaboración propia.

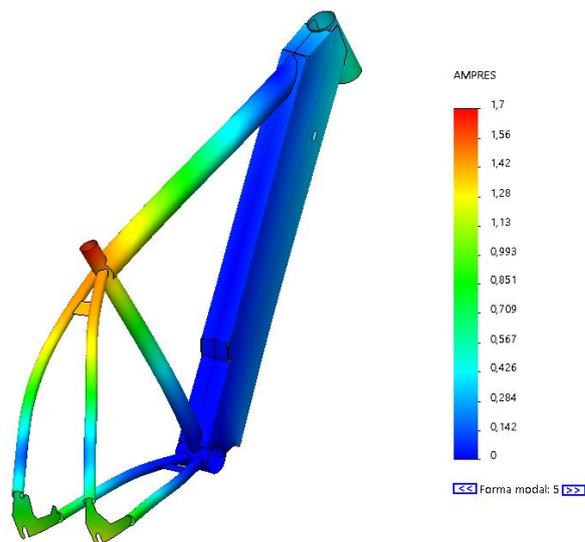


Figura 13. Estudio de frecuencia – Segundo modo de vibración. Fuente: elaboración propia.

5.1. Ensayo de choque – caída de una masa.

Se colocó un rodillo de 1 kg en lugar del eje delantero y se le aplicó una fuerza de 3588 N. Se puede observar que la zona de la columna de dirección es la más comprometida, pero sin alcanzar la tensión de fluencia (Fig. 14).

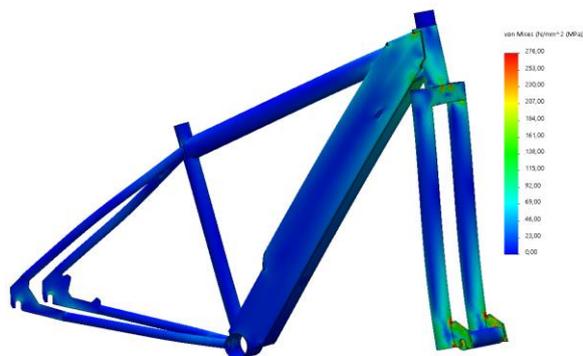


Figura 14. Ensayo de choque – caída de una masa. Fuente: elaboración propia.

5.2. Ensayo de choque – caída del cuadro.

Nuevamente la zona más comprometida es la del buje de dirección de la bicicleta. En pequeñas áreas se superan los 180 Mpa (coeficiente de seguridad 1,5) pero aun así no se supera la tensión de fluencia de 276 Mpa (Fig. 15).

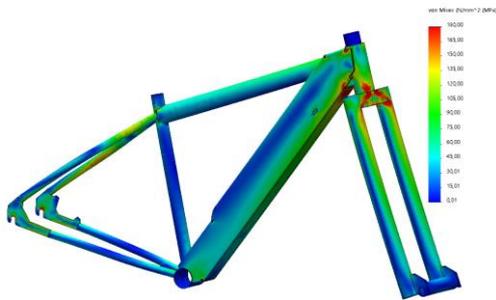


Figura 15. Ensayo de choque – caída del cuadro. Fuente: elaboración propia.

5.3. Ensayo de fatiga sobre los pedales.

Se colocó una carga estática de 1000 N sobre uno de los pedales conectados al eje trasero mediante la biela y el tirante propuestos por Norma. Se obtuvieron resultados favorables en cuanto a las tensiones sobre el cuadro ya que las mismas no superan los 180 Mpa (Fig. 16). Este estudio se consideró para realizar el análisis de fatiga de 100000 ciclos.

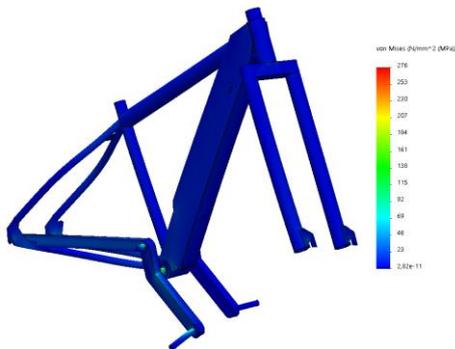


Figura 16. Ensayo de fatiga sobre los pedales – tensiones. Fuente: elaboración propia.

5.4. Ensayo de fatiga para fuerzas horizontales.

Para este ensayo se hace un análisis estático del modelo con la carga de 450 N que propone la norma, estudio que finalmente se utiliza para realizar un análisis de fatiga sometiendo a la estructura a una carga de 100000 ciclos.

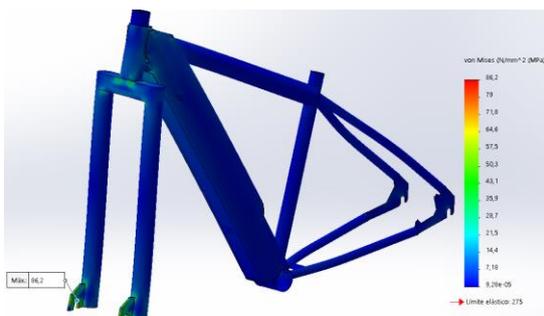


Figura 17. Ensayo de fatiga para fuerzas horizontales – tensiones. Fuente: elaboración propia.

Se omitió el resultado sobre la horquilla dado que sólo se representó para aplicar la carga en su extremo. Se puede observar que el cuadro no se tensiona más allá de los 76,1 Mpa (Fig. 17). Esto cumple con un coeficiente de seguridad de 3,6 dado que aluminio 6061 T6 resiste a la fluencia 276 Mpa.



Figura 18. Ensayo de fatiga para fuerzas horizontales – desplazamientos. Fuente: elaboración propia.

En cuanto a los desplazamientos, se obtuvo un valor máximo aceptable de unos 0,8 mm (Fig. 18).

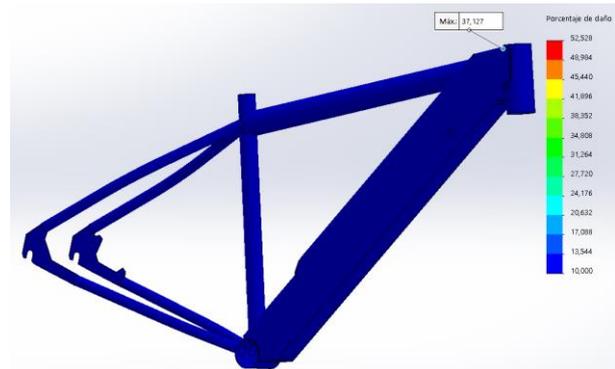


Figura 19. Ensayo de fatiga para fuerzas horizontales – daño por fatiga. Fuente: elaboración propia.

El estudio de fatiga determinó que la zona más crítica sufre un daño del 37,2% en una zona puntual (desahogo) pero que se solucionará en el proceso de soldadura rellenándolo (Fig. 19). Por otro lado, cumple con más de 269000 ciclos de carga mientras que el resto de la estructura lo supera ampliamente, un excelente resultado frente a los 100000 ciclos que determina la norma.

6. Fabricación

Para la fabricación del cuadro se comenzó con el mecanizado de la caja de pedalier y la columna de dirección (Fig.20). Para la primera, se partió de un macizo redondo de aluminio 6061 T6 y se le realizó un vaciado y un roscado BSA 1,37” x 24T. Para la columna se utilizó un caño de la misma aleación de 50x5mm y se le mecanizaron los asientos para las cazoletas correspondientes.



Figura 20. Caja de pedalier y columna de dirección mecanizados. Fuente: elaboración propia.

Paralelamente, se realizó el corte con router de los anclajes de la rueda trasera con chapa de 6 mm aluminio 5086 (Fig. 27). Con láser se cortaron las chapas de 1,6 mm (aluminio 5086) que conforman el caño formado que aloja las baterías y el controlador. Posteriormente, las chapas más finas se plegaron (Fig. 21).



Figura 21. Plegado de chapas para caja de baterías y controlador. Fuente: elaboración propia.

Además, se fabricó un dispositivo de soldadura de MDF y madera con bujes de acero SAE 1026 para montar cada una de las piezas en la posición deseada y llevar a cabo el proceso de soldadura con método TIG en dos etapas (Fig. 24 y Fig. 25). Otro uso que se le dio al dispositivo fue el ajuste previo de los caños cuyas intersecciones fueron mecanizadas mediante el uso de fresas y herramientas manuales.

Una vez soldado el cuadro, se procedió a limar algunas soldaduras en zonas donde es importante el acabado estético de la pieza (Fig. 22).



Figura 22. Cuadro soldado. Fuente: elaboración propia.

Se pintó el cuadro con pintura de tipo epoxi horneada que brinda un excelente acabado y es un método económico y sencillo de realizar sobre este tipo de material.

7. Resultados

Se procedió al ensamblaje del conjunto para verificar el correcto funcionamiento de la bicicleta, comprobar posibles interferencias y el comportamiento estructural.



Figura 23. Bicicleta armada con componentes comerciales. Fuente: elaboración propia.

Se harán una serie de pruebas con el conjunto armado en ciudad y en caminos rurales para determinar su comportamiento.

A corto plazo se pretende utilizar la bicicleta haciéndola funcionar con tracción del ciclista en caminos de diferente complejidad a tracción pura del ciclista a fines de detectar posibles fallas o fatigas estructurales.

En un futuro cercano se proyecta armar la rueda trasera con el motor de rueda, la cual quiere el uso de rayos reforzados, terminar el ensamblaje de la batería (Fig. 29 y Fig. 30), finalizar el desarrollo del BMS (aún no materializado) y e instalar el controlador (el cual se encuentra ya desarrollado y funcionando. Fig. 31) lo cual permitirá probar el funcionamiento de la bicicleta completa a tracción eléctrica.

8. Conclusiones

Se desarrolló un cuadro adaptado a un controlador, un BMS y un pack de baterías desarrollados en la Universidad con un diseño estético y adaptado a las prestaciones de uso híbrido al cual será sometido; con un peso óptimo para este tipo de estructuras comparándolo con cuadros comunes de aluminio que se consiguen en el mercado. Este tipo de cuadros no se consiguen en el mercado actualmente y permite montar de manera adecuada la parte electrónica de la bicicleta. Este bastidor le da un cierre al proyecto de la bicicleta eléctrica que permitirá obtener datos útiles en investigación científica y posibilita futuros desarrollos

que puedan ser utilizados por usuarios particulares como un medio de transporte alternativo de bajo costo de adquisición y uso.

Los datos recogidos de las diferentes pruebas que se pretenden realizar (nombradas en el apartado de resultados), permitirán llevar a cabo revisiones y optimizaciones en el diseño. Además, se propone la realización de cálculos dinámicos por software para verificar futuras revisiones del cuadro teniendo en cuenta la normativa referida en este artículo.

9. Referencias

[1] A. A. Parker, "In europe 250 watt pedelecs reduce pollution and improve the safety and mobility of young and elderly riders," in Australasian Transport Research Forum 2011 Proceedings, 2011, pp. 28–30.

[2] David Poch Vives, Juanjo Blanco Nicolás. "Diseño de una bicicleta eléctrica con cuadro adaptable", Ingeniería técnica industrial esp. Mecánica. Departamento de Ingeniería Mecánica.

[3] Jeferson Wladimir Catucuago Cuzco, William Marcelo Túquerres Tabango. "Diseño y construcción del marco y basculante para una bicicleta eléctrica por medio de la técnica de optimización estructural topológica", Ibarra, 2021.

[4] Rodzan Iskandar, Dyah Sawitri, Ridho Hantoro, et al., "Analysis of static mechanical properties of electric bike frames using finite element analysis (FEA)". AIP Conference Proceedings 2384, 070004, 2021.

[5] Imperial College of London (ICL), 2021.

[6] Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM). "Bicicletas con asistencia eléctrica al pedaleo (EPAC)". Norma IRAM 60020, 2017.

[7] Comité Europeo de Normalización. "Ciclos – Requisitos de seguridad para bicicletas – Parte 6: Métodos de ensayo del cuadro y la horquilla". Norma ISO 4210-6: 2014.

10. Anexos



Figura 24. Piezas de horquilla trasera presentadas sobre dispositivo de soldadura. Fuente: elaboración propia.



Figura 25. Piezas del cuadro presentadas sobre dispositivo de soldadura. Fuente: elaboración propia.



Figura 26. Horquilla trasera soldada. Fuente: elaboración propia.



Figura 27. Programa de router para corte de anclajes traseros. Fuente: elaboración propia.



Figura 28. Bicicleta armada. Fuente: elaboración propia.



Figura 29. Baterías. Fuente: elaboración propia.



Figura 30. Baterías. Fuente: elaboración propia.

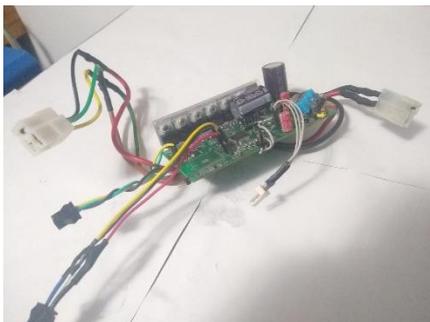


Figura 31. Controlador. Fuente: elaboración propia.