



GRADO EN INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

TRABAJO FIN DE GRADO

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE LA TRANSFORMACIÓN DE UN CICLOMOTOR ELECTRICO PARA USO TODOTERRENO

Autor: Francisco Javier López Salcedo

Director: Juan Norverto Moriño

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Estudio de viabilidad de la transformación de un ciclomotor eléctrico para uso Todoterreno
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2019/20 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.
El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido
tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Francisco Javier López Salcedo

Fecha: 27/8/2020

Autorizada la entrega del proyecto



EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Juan Norverto Moriñigo

Fecha://



Firmado digitalmente por
NORVERTO MORIÑIGO
JUAN - DNI 09746499L
Fecha: 2020.08.26
08:25:37 +02'00'

Agradecimientos

Tras tanto tiempo, tras tantos años, tras tanto esfuerzo, el momento ha llegado. Este trabajo como guinda final a tan arduo camino que ya termina. Un camino que, aunque fuese mío, no he recorrido solo, no habría podido hacerlo. Sin ellos, sin mis padres, esto jamás habría sido posible, pero no solo este pequeño capítulo de mi vida que acaba aquí, si no durante los 25 años que llevo de vida, y todos los que me quedan por vivir, sin ellos no sería posible.

Mamá, Papá, muchas gracias por apoyarme, por guiarme en el camino, por ayudarme a crecer y a creer en mí mismo, por hacerme más fuerte. Vosotros mejor que nadie sabéis que el camino no ha sido fácil, que me he caído una y otra vez, a menudo con la misma piedra, y siempre habéis estado ahí para tenderme la mano y curar mis heridas. Solo puedo estar agradecido por todo lo que me habéis dado, por ser ese ejemplo en el que fijarme cada día, por ser los mejores padres que un hijo como yo puede tener. ¡Gracias!

Gracias a ti también Rocío. Es verdad lo que dicen que nunca sabes de quien puedes aprender algo, y de ti, de mi hermanita pequeña, he aprendido mucho. Ha menudo has sido un faro que arrojaba luz cuando no podía ver, que, incluso teniendo opiniones y caracteres muy diferentes, y aunque pudiese costar, me decías lo que sabías que me tenías que decir, sin adornos, sin dulcificarlo, y conseguías sacar lo mejor de mí mismo. Simplemente muchas gracias por ser como eres. ¡Gracias!

A vosotros, Fernando, Marcos y Raúl, a vosotros también os debo mucho. Vosotros habéis compartido como casi nadie mi día a día, tanto fuera como dentro, desde el primer momento. Me habéis dado mucho, he aprendido mucho de vosotros en estos largos 7 años de Project Life, que espero que no sea más que el comienzo de una larga vida juntos. Gracias por la energía, las ganas de vivir, por los viajes, por los momentos, por las cebadas y por las risas... Soy como soy ahora mismo en gran parte gracias a vosotros. ¡Gracias!

Gracias también a todas esas personas que me han acompañado y apoyado durante el viaje, y que algunos empezaron siendo como compañeros, y ahora son casi como hermanos. Si tuviese que ponerme a nombrar uno por uno a toda la gente que me ha ayudado, esta sección ocuparía más que el propio trabajo, pero tengo que mencionar a tres personas. Gracias especialmente a Nacho, Josh y Edu, no sé que habría sido de mí en este viaje sin vuestro consejo, sin vuestro apoyo y la confianza que habéis depositado en mí. ¡Gracias!

También hay personas que, aunque no han estado ahí todo el camino, me han ayudado como pocos. Muchas gracias, Mariana y Javier, por vuestro incondicional apoyo, por aguantarme y quererme tal y como soy, por hacerme mejor persona. En la vida vendrán muchos obstáculos, pero se que puedo contar con vosotros, y que todo es mucho más fácil así. ¡Gracias!

Por último, agradecer al resto de mi familia que siempre ha estado ahí, abuelas, tíos y tías, primos... siempre apoyándome, siempre queriéndome, con una sonrisa en la cara y toda a fe del mundo depositada en mi. ¡Gracias!

Este trabajo, como culmen de una carrera, va dedicada a tres personas, tres personas muy muy especiales, que desde ahí arriba, han visto todo mi camino, me han acompañado todo el tiempo, en lo buenos y en los malos momentos, infundiéndome fe y cuando no veía salida. Prima Alba, tío Paco y abuelo Juan, estéis donde estéis, este trabajo va por vosotros.

Infinitamente agradecido por la vida que me ha tocado vivir

Fco. Javier López Salcedo

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE LA TRANSFORMACIÓN DE UN CICLOMOTOR ELECTRICO PARA USO TODOTERRENO

Autor: López Salcedo, Francisco Javier.

Director: Norberto Morínigo, Juan.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

En este trabajo se va a evaluar la viabilidad de la transformación de un ciclomotor eléctrico de paseo a todoterreno. Para ello se realizarán una serie de estudios de comportamiento mecánico y se propondrán ciertos cambios en las piezas del modelo original, con el objetivo de conseguir una transformación viable económicamente.

Palabras clave: Estructura, modelo, análisis, ciclomotor

1. Introducción

Queremos averiguar si es posible transformar un modelo de ciclomotor eléctrico de paseo, en un modelo todoterreno, diseñado para soportar mayores cargas y esfuerzos y la viabilidad económica del proyecto.

2. Metodología del trabajo

Para poder llevar a cabo el trabajo va a ser necesario tener un modelo en digital que poder manipular, por ello el primer paso será diseñar en formato CAD el cuadro del modelo original, para su posterior análisis estructural. A continuación, basándonos en el mismo modelo inicial y con el programa de diseño, se propondrán dos modelos diferentes que cumplan los requisitos impuestos. Finalmente se analizarán los sobrecostos que conllevaría fabricar cada diseño y si es viable llevarlos a cabo económicamente.

3. Modelo original de partida

El modelo que se va a analizar y sobre el que se va a trabajar es el modelo *Scorpion*, de la compañía *Juiced Bikes*.



Ilustración 1 – Modelo original de partida

4. Resultados

Los resultados obtenidos en el modelo dos están muy por encima de los obtenidos en el modelo original y en el modelo 1, soportando sobradamente los esfuerzos que se le imponen en los ensayos.

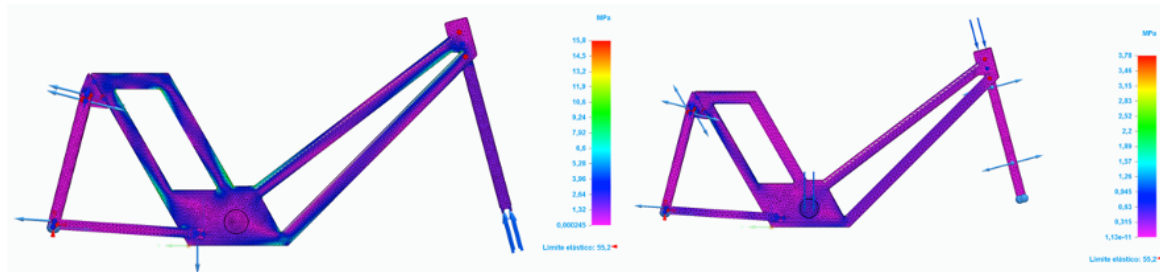


Ilustración 2 – Resultados de los esfuerzos de VM del modelo 2 (ensayo 1 y 3)

Los sobrecostos de fabricación de este diseño serían de 280€ por un solo modelo, y de 168€ si se fabricase en masa (1000 unidades).

5. Conclusiones

Finalmente se pudo concluir que el modelo dos está muy por encima de los otros dos, y como se demostrará en este trabajo, es un modelo perfectamente viable para el objetivo impuesto inicialmente. Además, los sobrecostos económicos producidos en la fabricación del segundo diseño, aunque un poco elevados, pueden ser perfectamente amortizados ya que el valor en el mercado del nuevo modelo aumentaría considerablemente.

FEASIBILITY STUDY OF THE TRANSFORMATION OF AN ELECTRIC MOTOR FOR OFF-ROAD USE

Author: López Salcedo, Francisco Javier

Supervisor: Norberto Morínigo, Juan.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

In this work, the feasibility of transforming an electric moped from ride to off-road will be evaluated. For this, a series of mechanical behavior studies will be carried out and certain changes will be proposed in the parts of the original model, with the aim of achieving an economically viable transformation.

Keywords: structure, model, analysis, moped

1. Introduction

The aim is to find out if it is possible to transform an electric touring moped model into an off-road model, designed to withstand greater loads and efforts and the economic viability of the project.

2. Work methodology

In order to carry out the work, it will be necessary to have a digital model that can be manipulated, so the first step will be to design the original model table in CAD format, for its subsequent structural analysis. Then, based on the same initial model and the design program, two different models will be proposed that meet the imposed requirements. Finally, the extra costs involved in manufacturing each design will be analyzed and if it is feasible to carry them out economically.

3. Original starting model

The model that is going to be analyzed and on which it is going to work is the Scorpion model, from the Juiced Bikes company.



Ilustración 3 – Original model

4. Results

The results obtained in model two are well above those obtained in the original model and in model 1, amply supporting the efforts that are imposed on it in the tests.

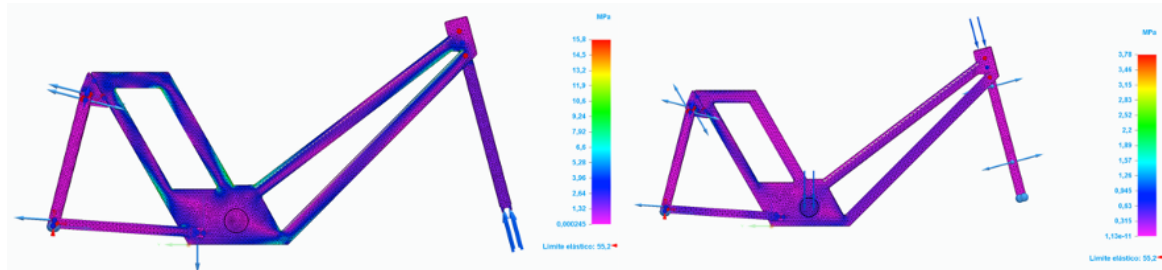


Ilustración 4 - Simulación del bucle completo de la etapa de frecuencias

The extra costs of manufacturing this design would be € 280 for a single model, and € 168 if it were mass-produced (1000 units).

5. Conclusions

Finally, it can be concluded that model two is well above the other two, and as it will be demonstrated in this work, it is a perfectly viable model for the objective initially imposed. In addition, the economic extra costs incurred in the manufacture of the second design, although a little high, can be perfectly amortized since the market value of the new model would increase considerably.

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción	8
1.1 Objetivos	8
1.2 Motivación.....	8
1.3 Metodología de trabajo.....	8
1.4 Planificación	9
1.5 Recursos	9
Capítulo 2. Estado de la cuestión.....	10
2.1 Origen y evolución de la bicicleta	10
2.2 Nacimiento de la bicicleta eléctrica.....	14
2.3 Tipos de bicicleta eléctrica	15
2.3.1 Pedelec.....	15
2.3.2 Speed pedelec	15
2.3.3 E-bikes	15
2.4 Partes de una bicicleta eléctrica.....	16
2.4.1 Parte ciclo	16
2.4.1.1 Asiento	16
2.4.1.2 Cuadro	17
2.4.1.3 Delantero	18
2.4.1.4 Trasera.....	20
2.4.1.5 Ruedas	21
2.4.2 Parte eléctrica/electrónica	22
2.4.2.1 Sensor de pedaleo.....	22
2.4.2.2 Controlador	23
2.4.2.3 Batería	23
2.4.2.4 Motor.....	23
2.4.2.5 Panel de control.....	23
Capítulo 3. Diseño del ciclomotor.....	24
3.1 Diseño de partida.....	24
3.1.1 Ciclo	25
3.1.1.1 Frenos.....	25

3.1.1.2 Suspensión.....	25
3.1.1.3 Tren motriz.....	26
3.1.1.4 Cubiertas y llantas	26
3.1.1.5 Manillar	26
3.1.1.6 Cuadro	26
3.1.1.7 Asiento, rack y protectores.....	26
3.1.2 Eléctrica / Electrónica.....	27
3.1.2.1 Batería	27
3.1.2.2 Motor.....	27
3.1.2.3 Sensor de pedaleo, controlador, display y luces LED.....	27
3.2 Condiciones de partida	28
3.2.1 Recepción de salto o bajada.....	29
3.2.2 Frenada brusca	30
3.2.3 Impacto en rueda delantera.....	31
3.3 Cambios propuesto en el diseño	32
3.3.1 Elementos que se van a cambiar	32
3.3.1.1 Cuadro	32
3.3.1.2 Amortiguación.....	33
3.3.1.3 Manillar	33
3.3.1.4 Frenos	33
3.3.1.5 Motor y batería.....	33
3.3.1.6 Asiento, pedales y pantalla DLC.....	34
3.3.1.7 Neumáticos.....	34
Capítulo 4. Estudio y análisis del cuadro	35
4.1 Modelo original	35
4.1.1 Tubo fondo.....	36
4.1.2 Tubo inferior.....	36
4.1.3 Tija del manillar	37
4.1.4 Tubo del sillín	37
4.1.5 Rack trasero.....	38
4.1.6 refuerzo fondo.....	38
4.1.7 Refuerzo manillar	39
4.1.8 Basculante, amortiguadores y barra dirección.....	39
4.2 Ensayos estructurales	40

4.2.1 Recepción de salto o bajada.....	40
4.2.2 Frenada brusca	44
4.2.3 Impacto en rueda delantera.....	44
4.3 Desarrollo del Modelo 1	46
4.3.1 Cambios propuestos	46
4.3.1.1 Soporte de amortiguación trasera.....	47
4.3.1.2 Tubo superior	47
4.3.2 Recepción de salto o bajada.....	48
4.3.3 Impacto en rueda delantera.....	49
4.3.4 Conclusiones del modelo 1	50
4.4 Desarrollo del Modelo 2	51
4.4.1 Cambios propuestos	51
4.4.1.1 Pieza central	51
4.4.2 Recepción de salto o bajada.....	52
4.4.3 Impacto en rueda delantera.....	53
4.4.4 Conclusión modelo 2	54
Capítulo 5. Presupuesto.....	55
5.1 Modelo original	55
5.2 Modelo 1	55
5.3 Modelo 2.....	56
Capítulo 6. Conclusiones.....	57
Capítulo 7. Futuros trabajos	58
Capítulo 8. Bibliografía.....	59

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1 – Modelo original de partida	5
Ilustración 2 – Resultados de los esfuerzos de VM del modelo 2 (ensayo 1 y 3)	6
Ilustración 3 – Original model.....	7
Ilustración 4 - Simulación del bucle completo de la etapa de frecuencias	8
Ilustración 5 - Bicicleta de seguridad de John Kemp Starley (1885)	10
Ilustración 6 - Evolución de las bicicletas a lo largo del tiempo	11
Ilustración 7 - Modelo inventado por Karl Dreis (1817).....	11
Ilustración 8 - Primeros pedales inventados por Kirkpatrick Macmillan.....	12
Ilustración 9 - Primer neumático hinchable de Robert William Thomson.....	12
Ilustración 10 - Bicicleta de rueda alta	13
Ilustración 11 - Zona del asiento	16
Ilustración 12 - Zona del cuadro.....	17
Ilustración 13 - Zona delantera	18
Ilustración 14 - Zona trasera.....	20
Ilustración 15 - Zona de las ruedas	21
Ilustración 16 - Modelo básico Juiced Scorpion	24
Ilustración 17 - Disco de freno de 180mm	25
Ilustración 18 - Basculante trasero	25
Ilustración 19 - Cuadro del modelo a estudio.....	26
Ilustración 20 - Conjunto inicial numerado	28
Ilustración 21 - Primer ensayo del conjunto	29
Ilustración 22 – Segundo ensayo del conjunto	30
Ilustración 23 - Tercer ensayo del conjunto	31
Ilustración 24 - Propuesta de cambio del cuadro modelo 1	32
Ilustración 25 - Propuesta de cambio del cuadro modelo 2.....	32
Ilustración 26 - Modelo inicial digitalizado	35
Ilustración 27 - Modelo real inicial	35
Ilustración 28 - Tubo fondo	36

Ilustración 29 - Tubo inferior	36
Ilustración 30 - Tija del manillar	37
Ilustración 31 - Tubo del sillín	37
Ilustración 32 - Rack trasero.....	38
Ilustración 33 - Refuerzo del fondo.....	38
Ilustración 34 - Refuerzo del manillar.....	39
Ilustración 35 - Amortiguadores, basculante y dirección	39
Ilustración 36 - Fuerzas aplicadas en pedalier(1200N)	40
Ilustración 37 - Fuerza aplicada en manillar(300N).....	40
Ilustración 38 - Condiciones de contorno.....	41
Ilustración 39 - Contacto entre piezas	41
Ilustración 40 - Mallado del modelo.....	42
Ilustración 41 - Resultado de esfuerzos de VM (ensayo 1).....	42
Ilustración 42 - Resultados esfuerzo VM en Rack (ensayo1)	43
Ilustración 43 - Resultados de los desplazamientos (ensayo1).....	43
Ilustración 44 - Resultados de esfuerzos de VM (ensayo 2)	44
Ilustración 45 - Resultados de esfuerzo de VM (ensayo 3).....	45
Ilustración 46 - Punto crítico en el refuerzo del fondo (ensayo 3)	45
Ilustración 47 - Resultado de los desplazamientos (ensayo 3)	45
Ilustración 48 - Propuesta de diseño (modelo 1)	46
Ilustración 49 - Soporte de amortiguación trasera (modelo 1)	47
Ilustración 50 - Tubo superior (modelo 1).....	48
Ilustración 51 - Resultados de esfuerzos VM en modelo 1 (ensayo 1)	48
Ilustración 52 - Resultado de desplazamientos en modelo 1 (ensayo 1)	49
Ilustración 53 - Resultado de esfuerzos de VM en modelo 1 (ensayo 3)	49
Ilustración 54 - Resultados de desplazamientos modelo 1 (ensayo 3)	50
Ilustración 55 - Propuesta de diseño (modelo 2)	51
Ilustración 56 - pieza central (modelo 2).....	52
Ilustración 57 - Resultados de esfuerzos de VM en modelo 2 (ensayo 1).....	52
Ilustración 58 - Resultados de desplazamientos en modelo 2 (ensayo 1)	53

Ilustración 59 - Resultados de esfuerzos de VM en modelo 2 (ensayo 3).....	53
Ilustración 60 - Resultados de desplazamientos en modelo 2 (ensayo 3)	54

Índice de tablas

Tabla 1 - Especificaciones batería	27
Tabla 2 - Especificaciones motor	27
Tabla 3 - Conjunto de piezas modelo original.....	28
Tabla 4 - Sobrecostos del modelo 1	55
Tabla 5 - Sobrecostos del modelo 2.....	56

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

1.1 OBJETIVOS

- Realizar la adaptación de un ciclomotor eléctrico de ciudad comercial a un ciclomotor eléctrico todoterreno.
- Ofrecer un diseño nuevo y más resistente de la estructura del ciclomotor, analizando y diseñando a través de diseño CAD y análisis estructural CAE.
- Superar las prestaciones del diseño original sin encarecer los costes desmesuradamente.

1.2 MOTIVACIÓN

La principal motivación es diseñar un nuevo modelo con mejores prestaciones a nivel mecánico para poder utilizarlo en terrenos más abruptos, al precio más asequible posible. Uno de los mayores limitantes que tiene nuestro diseño es a nivel estructural, ya que el cuadro del ciclomotor no está diseñado para soportar grandes esfuerzos y tensiones, si no que es una estructura sencilla que agrupa todos los elementos del vehículo y está diseñado para paseo. También habrá que tener en cuenta el resto de las partes no estructurales del ciclomotor, ya que no todas son capaces de soportar el esfuerzo y desgaste que un terreno no uniforme puede conllevar.

1.3 METODOLOGÍA DE TRABAJO

El trabajo consistirá inicialmente en un desglose y evaluación de todos los elementos del ciclomotor, analizando y decidiendo uno por uno si son o no aptos para cumplir nuestro

objetivo de diseño, y a continuación proponer los recambios o piezas pertinentes que si cumplan los mínimos necesarios para nuestro diseño final.

Seguramente el elemento más crítico con diferencia es el cuadro de nuestro ciclomotor, ya que es la estructura que soporta prácticamente el total de los esfuerzos. Para ello utilizaremos una potente herramienta de diseño CAD, SolidEdge. Necesario para trabajar a nivel virtual con el diseño de partida y, posteriormente, poder realizar mediante uno de sus módulos, el análisis estructural, con el objetivo de averiguar cuales son los puntos más críticos de nuestro diseño y poder así buscar una solución.

1.4 PLANIFICACIÓN

	2019																							
	Marzo				Abril				Mayo				Junio				Julio				Agosto			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Anexos/Investigación																								
Diseño CAD																								
Análisis ANSYS																								
Redacción memoria																								

*Esta planificación ha sido realizada teniendo en cuenta las limitaciones y los retrasos causados por la situación sanitaria de la COVID-19.

1.5 RECURSOS

Los recursos utilizados será los ofrecidos por la escuela en su versión estudiante. A saber:

- Diseño CAD: Siemens SolidEdge
- Licencia Windows 10 for iOs. Necesaria para correr los programas en un Mac
- Paquete office Microsoft

Capítulo 2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

2.1 ORIGEN Y EVOLUCIÓN DE LA BICICLETA

Siempre ha existido un gran debate sobre el origen de la bicicleta, y a lo largo de los años los historiadores han debatido sobre que se puede considerar realmente una bicicleta. Lo que sí se tiene claro es que es un invento europeo y que fue el británico John Kemp Starley quien patentase la primera bicicleta con pedales en 1884, denominada *Bicicleta de seguridad*, ya que la posición permitía estar cerca del suelo y poder apoyar los pies en él.



Ilustración 5 - Bicicleta de seguridad de John Kemp Starley (1885)

Fuente: <https://bicihome.com/la-historia-de-las-bicicleta/>

Existían creencias que aseguraban que Leonardo Da Vinci ya inventó una en el siglo XV o que un aristócrata francés lo hiciese en el XVII, pero los historiadores fueron desmintiéndolas con el tiempo.

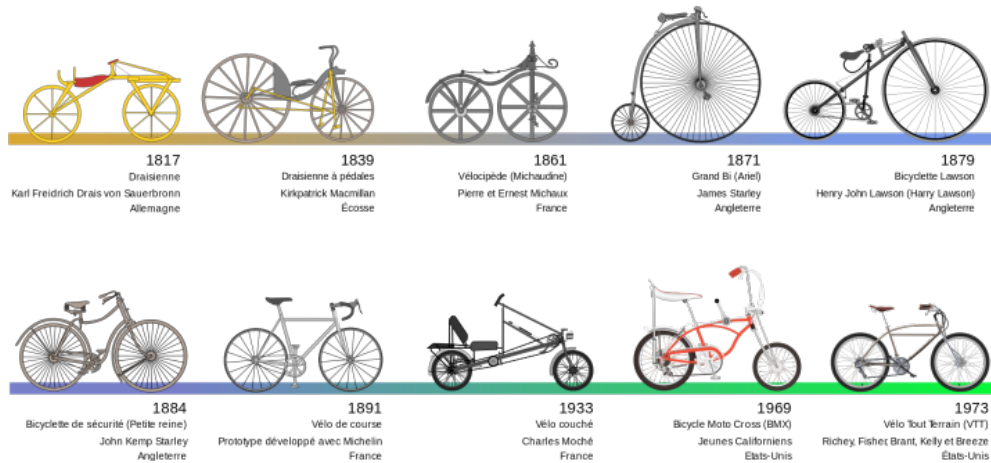


Ilustración 6 - Evolución de las bicicletas a lo largo del tiempo

Fuente: <https://pedaleandoporcanarias.com/2016/05/descubre-la-evolucion-de-la-bicicleta-desde-sus-inicios-hasta-hoy/>

Las primeras pruebas fehacientes que se tienen son de 1816, cuando el inventor y aristócrata Karl Dreis crease el primer vehículo con dos ruedas en línea, sin pedales, frenos ni cadena, propulsado con los pies, y que contaba con un sistema de dirección bastante rudimentario, un sillín y el cuadro.

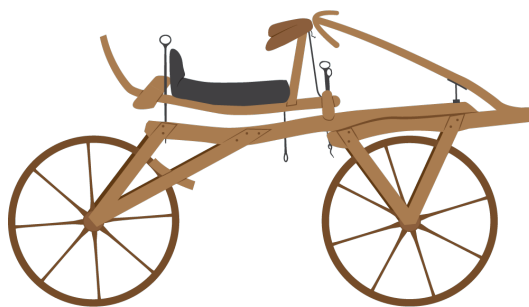


Ilustración 7 - Modelo inventado por Karl Dreis (1817)

Fuente: <https://www.bikester.es/info/historia-bicicleta/>

Con el tiempo se fueron produciendo los cambios y las mejoras, como en 1839, cuando un herrero escocés llamado Kirkpatrick Macmillan añadió unos pedales a su prototipo, lo que permitió poder utilizarlo sin apoyar los pies en el suelo, uniéndolos a la rueda trasera a través de unas barras, utilizando la misma mecánica que los trenes de vapor.

Unos pocos años más tarde, otro escocés llamado Robert William Thomson diseñó lo que luego se convertirían en lo que son ahora las cubiertas. Combinando cuero y goma, diseñó unos neumáticos hinchables que sustituirían a las ruedas de madera de por entonces, aunque fue un invento poco utilizado y acabó cayendo en desuso.



Ilustración 8 - Primeros pedales inventados por Kirkpatrick Macmillan

Fuente: <https://bicihome.com/la-historia-de-las-bicicleta/>



Ilustración 9 - Primer neumático hinchable de Robert William Thomson

Fuente: <https://bicihome.com/la-historia-de-las-bicicleta/>

Los cambios se fueron sucediendo sin importantes mejoras, hasta 1873, cuando el inventor inglés James Starley diseñó la primera bicicleta de rueda alta, denominada así debido a que el tamaño de la rueda delantera era 3 veces más grande que la trasera. Se diseñó así ya que aumentó la demanda de modelos más rápidos y que pudieran recorrer más distancia. A pesar de ser difícil su conducción e incluso bastante peligroso, este modelo ganó mucha popularidad en la década de los 70 y 80, siendo un importante punto de inflexión para lo que vendría después.

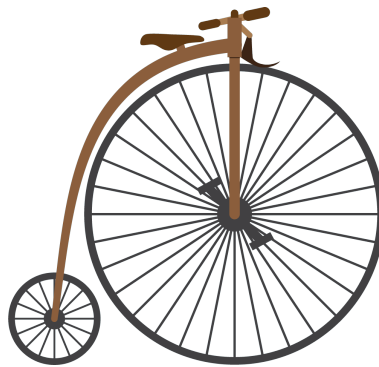


Ilustración 10 - Bicicleta de rueda alta

Fuente: <https://www.bikester.es/info/historia-bicicleta/>

Como ya se mencionó anteriormente, hubo que esperar hasta 1884 a que apareciese lo que se puede considerar el precursor más fiel de lo que conocemos como bicicleta hoy en día. John Kemp y su bicicleta de seguridad, con una postura mucho más cómoda y segura, con ruedas similares en tamaño y unos pedales unidos con una cadena de transmisión a una rueda dentada que propulsaba la rueda trasera. Esto unido a los neumáticos con cámaras de aire inventados por el irlandés John Boyd Dunlop en 1888 o posteriormente a los neumáticos desmontables de los hermanos Michelin o Giovanni Battista Pirelli, plantaría las bases de todo lo que conocemos hoy en día en el mundo del ciclismo. Con el paso del tiempo la tecnología ha ido mejorando, y con ella los materiales y las piezas que se emplean, llegando a crear modelos increíblemente resistentes, ligeros y rápidos.

2.2 NACIMIENTO DE LA BICICLETA ELÉCTRICA

A contrario de lo que se puede pensar, la bicicleta eléctrica no es un invento reciente de esta última década, sino que tiene más de un siglo de historia. En la década de los 90 del siglo XIX se otorgaron las primeras patentes, con modelos que contaban con motores ubicados encima de la rueda trasera o otros con motores dobles en el propio centro del eje trasero.

Durante el siglo XX, las bicicletas eléctricas fueron ganando en importancia, ya que se fueron convirtiendo en una alternativa de transporte simple y económica frente a los problemas de transporte que se producían, tanto en ciudades como en zonas rurales. A mediados de este mismo siglo, y por los efectos causados por la II guerra mundial, las bicicletas eléctricas volvieron a experimentar un importante crecimiento de popularidad e importancia, otorgándose más patentes y explorando su potencial. Poco después se empezaría a explotar un nuevo sector, el de la motocicleta, relegando así al sector de las bicicletas a un segundo nivel, quedando parcialmente olvidadas y que únicamente podría aprovechar y nutrirse de los avances e innovaciones de la industria del motor.

El sector consiguió sobrevivir gracias a crisis energéticas como la del crudo en EE. UU. o las crisis económicas, ya que, por concepto, la bicicleta eléctrica es un medio barato, accesible y respetable con el medio ambiente. Por suerte, en la década de los 90 se empezó a desarrollar un nuevo subtipo de bicicleta eléctrica que funcionaba con el principio de *pedelec*, en el cual el conductor recibía ayuda directa mientras pedaleaba. Gracias a este nuevo diseño y a la gran difusión que le dieron marcas importantes como Yamaha en 1993 o a el auge de las baterías de litio en el 2005, la bicicleta eléctrica ha crecido enormemente en popularidad, aumentando un 30% sus ventas anualmente llegando a los 40 millones de modelos vendidos a principios de esta década.

2.3 TIPOS DE BICICLETA ELÉCTRICA

Como se ha mencionado en el apartado anterior, a finales del siglo XX se desarrolló un diseño que asistía al ciclista directamente, y gracias a esto se empezaron a desarrollar nuevas tecnologías, y con ellas, la regulación pertinente para poder adaptar los avances cumpliendo siempre con la seguridad y la legalidad, tanto en la fabricación como en la utilización. Cabe destacar la importancia del peso en una bicicleta, ya que, si supera los 40 kilogramos, pasaría a considerarse un ciclomotor, como el modelo que vamos a estudiar, pero para el caso que nos atañe, el de su clasificación, no existen diferencias. Hoy en día se contemplan tres categorías, diferenciadas en función de la asistencia al pedaleo que otorgue al ciclista.

2.3.1 PEDELEC

Pedaleo asistido hasta un límite de 25km/h. Esto la convierte en la más común y aceptada, especialmente en zonas como la Unión Europea. Están limitadas por la normativa EPAC (Electronically Power Assisted Cycles), que también limita los motores a una potencia nominal no superior a 250W, lo que obliga al fabricante a limitar el sistema electrónicamente mediante un software. Por lo demás, cumple la misma normativa que una bicicleta sin motor.

2.3.2 SPEED PEDELEC

Esta categoría es muy similar a la anterior, con la diferencia del aumento de las limitaciones de asistencia al pedaleo hasta 45km/h y a una potencia nominal no superior a 4000W. Dentro de la UE, estos modelos no entran dentro de la normativa EPAC, siendo obligatorio su homologación, matriculación y un ciclista con el carné de conducir AM junto con un seguro de responsabilidad civil.

2.3.3 E-BIKES

Por último, tenemos esta categoría, que engloba las que tienen un motor superior a 4000W y pedaleo asistido de hasta 45km/h. Estos modelos suelen contar con un acelerador, bien sea en la empuñadura como en una motocicleta, o en forma de pulsador o gatillo en el manillar. El motor de estas bicicletas se activa cuando accionamos dicho acelerador, no al pedalear,

por lo tanto, podemos desplazarnos sin necesidad de pedalear. Debido a esto, estos modelos son considerados ciclomotores, siendo igualmente necesario una homologación y matriculación, un carné pertinente para poder conducirlos y un seguro de responsabilidad civil.

2.4 PARTES DE UNA BICICLETA ELÉCTRICA

Para poder entender bien la composición y el funcionamiento de una bicicleta eléctrica hay que diferenciar bien las dos partes en las que está compuesta, la parte ciclo, que hace referencia a todas las partes mecánicas que tiene toda bicicleta, y la parte eléctrica/electrónica, que acompaña y complementa a la primera.

2.4.1 PARTE CICLO

Para una más fácil identificación de todas las piezas, vamos a dividir la bicicleta en 5 zonas.

2.4.1.1 Asiento

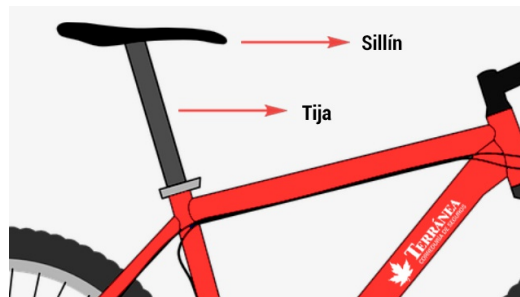


Ilustración 11 - Zona del asiento

Fuente: <https://blog.terranea.es/partes-bicicleta/>

Sillín

El objetivo principal del sillín es soportar gran parte del peso del ciclista sobre la bicicleta. Dependiendo del tipo de bici, serán más grandes y cómodos (bici de paseo) o más ligero y aerodinámicos (bicis de competición).

Tija

Es una parte clave para graduar la posición y altura de pedaleo. Se trata de un tubo unido a la parte inferior del sillín que llega hasta el cuadro de la bici. Puede ser de materiales mas pesados y baratos como acero y aluminio o más profesionales y caros como la fibra de carbono.

2.4.1.2 Cuadro

Es la parte más importante de la bicicleta sin ninguna duda, la pieza clave y la más crítica. Es una unión de tubos y vainas, normalmente de acero o. aluminio, que soporta grandes esfuerzos y que mantiene unido toda la bici.



Ilustración 12 - Zona del cuadro

Fuente: <https://blog.terranea.es/partes-bicicleta/>

Tubos

Son la parte más importante y resistente del cuadro. El tubo del asiento alberga la tija y del el nacen los otros dos, el superior y el inferior, que se unirán en el tubo de dirección. De estos dos últimos, el superior es prescindible dependiendo del modelo. Algunas bicis eléctricas no cuentan con él, es más, como veremos más adelante, el modelo que vamos a analizar carece de tubo superior, lo que denota claramente que se diseño para paseo.

Vainas

La vaina superior esta encargada de unir el tubo del asiento con el eje de la rueda trasera, mientras que la inferior tiene la unción de unir el mismo eje con los pedales. También son una pieza clave y su dimensionamiento es vital para un correcto funcionamiento del cuadro.

2.4.1.3 Delantera

La parte delantera se encarga principalmente de la dirección y el control de la bicicleta.



Ilustración 13 - Zona delantera

Fuente: <https://blog.terranea.es/partes-bicicleta/>

Manillar

A parte de soportar cierto peso del ciclista, su función principal es la dirección de la bicicleta. Está unido a la horquilla a través del tubo de dirección, y es este mismo el que le permite rotar otorgando ese giro para la dirección. En el manillar también están dispuestas las manetas de los frenos y el control del cambio o control electrónico del motor eléctrico.

Manetas de freno

Encargadas del accionamiento de los frenos, normalmente de manera mecánica o hidráulica. Los propios frenos son habitualmente de pastillas, posicionados en la propia llanta de la rueda, o de disco, colocados en el eje de esta. La maneta izquierda se encarga del freno delantero y la derecha del freno trasero.

Control de cambio

Encargado de accionar los mecanismos para modificar la marcha y/o el plato en el que se encuentra la bici. Es necesario que se accionen con la bicicleta en marcha para un correcto cambio y que las partes más delicadas no sufran ningún daño. También existen diferentes maneras de accionar el cambio, como manetas de subida y bajada o con un sistema rotatorio colocado en la empuñadura.

Tubo de dirección

Pieza que sirve de unión para los tubos superior e inferior del cuadro y eje para el manillar. Es importante que esta pieza sea resistente, ya que aguantará la mayoría de la fuerza del manilla y también esfuerzos del propio cuadro, por no decir de la amortiguación.

Amortiguador

Aunque es un elemento que se puede instalar en cualquier tipo de bici, es más común verlo en bicicletas de montaña, ya que su función es la de suavizar y minimizar los impactos en terrenos abruptos e irregulares, como en la naturaleza.

El más común y asequible es el amortiguador delantero, que va colocado entre el tubo de dirección y la horquilla. Así evitas grandes vibraciones y minimizas el esfuerzo sufrido por el cuadro. Pero también se pueden instalar en la parte trasera, en la tija, en el manillar...

Horquilla

Estructura básica encargada de sujetar el eje de la rueda delantera al conjunto. Como hemos mencionado anteriormente, si se quiere instalar amortiguación delantera, la estructura de la horquilla se adapta perfectamente a ello. Su nombre viene dado por su forma, compuesta por dos tubos paralelos, uno a cada lado de la rueda, que se unen en forma normalmente de arco por la parte superior.

2.4.1.4 Trasera

Al igual que la parte delantera se encargaba de la dirección, en este caso, la parte trasera tiene la función de propulsión de la bicicleta. Esto es gracias al conjunto de piezas y mecanismo que contiene, que transmite la energía desde las piernas de los ciclistas hasta el eje de la rueda trasera.

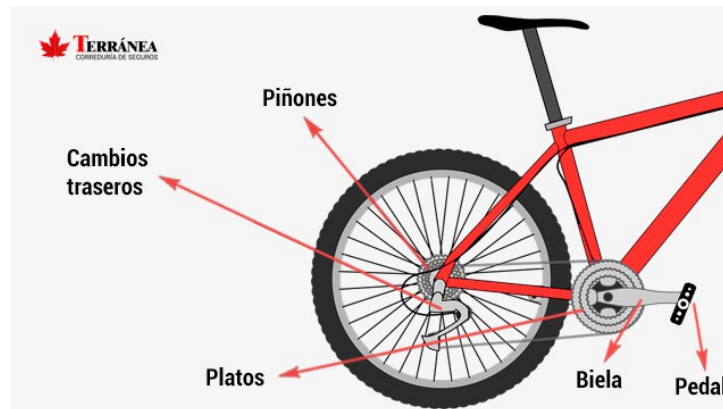


Ilustración 14 - Zona trasera

Fuente: <https://blog.terranea.es/partes-bicicleta/>

Pedales y bielas

Son el primer paso de este conjunto, los encargados de convertir la fuerza de las piernas del ciclista en energía cinética que será transmitida a través de la cadena. La biela, a pesar de ser una pieza menos conocida que los pedales es casi más importante que estos mismos, pues sin ella sería imposible generar esa energía.

Cadena

Encargada de transmitir esa energía creada en los pedales a la rueda trasera. Formada por eslabones, suele estar creada de acero, y pasa por los platos y los piñones para poder crear ese movimiento en la rueda trasera. Es necesario que este muy bien lubricada para su correcto funcionamiento

Platos, piñones y cambio

Indispensables para la correcta marcha y una propulsión más eficaz. Los platos se colocan en el eje de los pedales mientras que los piñones van situados en el eje de la rueda trasera. La elección de piñón o plato se realiza a través del control del cambio, situado en el manillar de la bici, y es el cambio el que se encarga de realizar la acción enviada por el ciclista. Es la elección de plato y piñón la que determinará el ritmo y la fuerza a aplicar en el pedaleo, y que nos facilitará el desplazamiento en superficies con diferentes grados de inclinación. El cambio delantero se encarga de modificar los platos y el cambio trasero de modificar los piñones.

2.4.1.5 Ruedas

Parte claramente muy importante, ya que sin ella ni siquiera andaríamos. Se componen de cuatro piezas muy sencillas, pero a la vez muy útiles y necesarias.

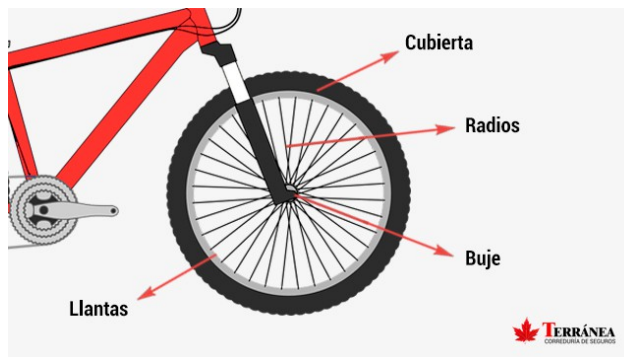


Ilustración 15 - Zona de las ruedas

Fuente: <https://blog.terranea.es/partes-bicicleta/>

Buje

Básicamente es el eje de la rueda, y es un punto de unión de todos los radios que dan cuerpo a la rueda. También se puede colocar el freno de disco en él.

Llantas y radios

La llanta es una estructura metálica circular que se encarga de aportar el movimiento circular de la rueda y de sujetar la cámara y la cubierta. A su vez, los radios, son una serie de alambres metálicos colocados entre la llanta y el buje, encargados de dar rigidez a la rueda, otorgándole resistencia de tracción y compresión simultáneamente, para hacer girar la rueda mientras se soporta el peso del ciclista.

Cubierta y cámara de aire

La cubierta es un elemento fabricado en caucho que permite un adecuado contacto con la superficie del suelo. Dependiendo del tipo de bicicleta se utilizará un tipo de cubierta u otro. También sirve para proteger lo que hay entre ella y la llanta, la cámara de aire, encargada de aportar rigidez y cuerpo a la cubierta y que se apoye de la manera adecuada sobre el suelo. Es un elemento muy delicado que puede llegar a pincharse, por eso se cubre con la cubierta.

2.4.2 PARTE ELÉCTRICA/ELECTRÓNICA

Acabamos de ver toda la parte mecánica básica de una bicicleta, y a esta le acompaña una serie de componentes electrónicos y eléctricos utilizados para la propulsión y monitorización de esta. Cierto es que una vez que entramos en este campo, no hay límite a la tecnología, se le podría aplicar casi de todo, pero aquí nos vamos a centrar en las piezas básicas que debe de tener toda bicicleta eléctrica.

2.4.2.1 Sensor de pedaleo

También denominado PAS. Es el encargado de analizar el pedaleo para mandar una señal al controlador y que este se encargue de gestionar la energía de la batería.

Existen dos tipos de sensores: de movimiento, detectando únicamente la cadencia de este, y de par, asistiendo al pedaleo de manera proporcional al esfuerzo que se esta aplicando al mismo.

2.4.2.2 Controlador

El controlador recibe información del PAS, la procesa y en función de ella, suministra energía al motor desde la batería en forma de impulsos.

2.4.2.3 Batería

Encargada de acumular toda la energía y suministrarla al motor según las indicaciones del controlador. Las baterías seguramente sea una de las piezas que más ha evolucionado y más evolucionara con el paso del tiempo, empleando materiales para conseguir la eficiencia optima en el proceso. Actualmente las baterías más utilizadas son las de Litio

2.4.2.4 Motor

Sin duda la parte mas importante de una bicicleta eléctrica. Podemos diferenciar dos tipos de motores, en función de donde este colocado.

- Motor tipo HUB: colocado en los bujes de las ruedas delantera o trasera. Son los más utilizados, ya que apenas afecta a la estructura de la bici y tiene un funcionamiento muy fluido.
- Motor tipo central: colocados en el eje del pedalier. Tienen una gran ventaja respecto a los otros, y es que pueden hacer uso de los cambios, optimizando las relación par-velocidad, el único inconveniente es su compleja instalación, y que en ocasiones requiere de un cuadro especial.

2.4.2.5 Panel de control

Se trata de un pequeño panel LCD colocado en el manillar, y que nos indica el estado actual de la batería y la asistencia la pedaleo. Dependiendo del modelo, estos paneles pueden ser más o menos elaborados, informando con más precisión o incluso pudiendo ajustar manualmente las funciones eléctricas de la bicicleta.

Capítulo 3. DISEÑO DEL CICLOMOTOR

3.1 DISEÑO DE PARTIDA

Juiced Bikes es una empresa de bicicletas eléctricas californiana fundada en 2009 que ofrece productos de movilidad eléctrica de alta gama a un precio asequible para el consumidor.

A finales de 2019 se diseñó y se presentó al mundo el modelo llamado “Scorpion”, una bicicleta estilo Moped que se financiaría a través de micro financiación y que superaría con creces todas las expectativas, llegando casi a los 2 millones de dólares recaudados. Este modelo está pensado para realizar grandes recorridos de manera muy cómoda con una sola carga de batería, con unas prestaciones de calidad de nivel superior. Como ya se comentó anteriormente, el objetivo de este trabajo es utilizar este modelo y rediseñarlo para que pueda ser utilizado en terrenos más irregulares y complejos. Como hemos explicado anteriormente, las bicicletas se dividen en dos partes diferenciadas, la ciclo y la eléctrica/electrónica. A continuación, se realizará un despiece del modelo para analizar una por una todas las partes de este.



Ilustración 16 - Modelo básico Juiced Scorpion

Fuente: <https://www.juicedbikes.com/products/scorpion>

3.1.1 CICLO

Como se ha indicado antes, esta parte hace referencia a todas las piezas con funcionalidades mecánicas con las que cuenta una bicicleta común. A continuación, se va a analizar una por una las piezas de nuestro modelo y sus especificaciones técnicas.

3.1.1.1 Frenos

Cuenta con frenos de disco de 180mm tanto en la rueda delantera como en la trasera.



Ilustración 17 - Disco de freno de 180mm

3.1.1.2 Suspensión

En la parte delantera cuenta con una horquilla de suspensión por aire con bloqueo hidráulico. Este sistema es uno de los mejores del mercado, con mejores prestaciones, pero aumentando ligeramente el peso. En la parte trasera cuenta con un basculante con resorte situado en el lugar de la vaina superior, uniendo el eje de la rueda trasera con el rack.



Ilustración 18 - Basculante trasero

Fuente: <https://www.juicedbikes.com/products/scorpion>

3.1.1.3 Tren motriz

El tren motriz es el conjunto del pedalier, la cadena y el cambio. En este caso es de la marca Shimano, contando con un cambio de 7 velocidades.

3.1.1.4 Cubiertas y llantas

Cubiertas antipinchazos 20''x4.0'' con protector interno incorporado y llantas de la marca Mag.

3.1.1.5 Manillar

Manillar ajustable con elevador, puños ergonómicos y opción de incluirle un retrovisor.

3.1.1.6 Cuadro

Cuadro de aluminio, con todos los tubos soldados en una misma pieza. Este modelo carece de tubo superior, por lo que cuenta con un refuerzo en la unión del tubo del asiento con el tubo inferior. La vaina superior está sustituida por un basculante para mejorar la suspensión.



Ilustración 19 - Cuadro del modelo a estudio

Fuente: <https://www.juicedbikes.com/products/scorpion>

3.1.1.7 Asiento, rack y protectores

En este modelo no contamos con tija, pues el asiento está directamente unido a una extensión del tubo del asiento. El sillín está diseñado para paseo, por lo que es grande y cómodo.

Además, incorporado a la misma extensión del asiento, viene un rack trasero, muy útil para el transporte. También cuenta con un protector o guardabarros en ambas ruedas.

3.1.2 ELÉCTRICA / ELECTRÓNICA

Como toda bici eléctrica, cuenta con una serie de dispositivos encargados de la propulsión y la monitorización. Vamos a analizar esos dispositivos y sus especificaciones técnicas.

3.1.2.1 Batería

Baterías de litio de largo recorrido, situada en el tubo inferior. Sus especificaciones son:

Voltaje	52V
Capacidad	13Ah
Vatios-hora	673Wh
Carga	2A de carga estándar (5.2h), ampliable a 8A de carga rápida (1.3h)

Tabla 1 - Especificaciones batería

3.1.2.2 Motor

Motor trasero, montado en el eje de la rueda trasera y compatible con el cambio instalado. De fácil montaje y con conectores resistentes al agua. Sus especificaciones más importantes son:

Potencia Nominal	750W	Potencia pico	1300W
Par máximo	80N.m	Ratio temp.	-20° - 45°
Eficiencia	>80%	Nº polos	20
Peso	4.6 kg	Nivel de ruido	<55dB

Tabla 2 - Especificaciones motor

3.1.2.3 Sensor de pedaleo, controlador, display y luces LED

Sensor de cadencia de 16 polos colocado en el pedalier. Controlador 9 FET con un amperaje de 25 A. El display es una pequeña pantalla LCD de matriz avanzada colocada en el manillar. Cuenta con control de crucero e informa del estado de la batería y la asistencia de pedaleo. Cuenta con una luz LED blanca de 2000 lumen colocada en el manillar y una luz LED trasera roja con función de frenado.

3.2 CONDICIONES DE PARTIDA

Para poder realizar nuestro estudio de comportamiento y el análisis pertinente, necesitamos un diseño virtual con el que trabajar. Por ello se ha tratado de recrear en 3D con el programa de diseño CAD SolidEdge. A pesar de tratar de conseguir las medidas originales del diseño contactando con la empresa, no ha sido posible, por ello se ha realizado el modelo virtual de manera aproximada, siguiendo algunas medidas básicas que se podían encontrar en su página web. Para realizar nuestro modelo, se han diseñado cuidadosamente diez piezas diferentes, para luego realizar un ensamblaje de estas. Estas piezas son:

1	Tubo inferior	6	Rack
2	Tubo fondo	7	Basculante
3	Tubo manillar	8	Amortiguador
4	Tubo sillín	9	Refuerzo manillar
5	Barra dirección	10	Refuerzo fondo

Tabla 3 - Conjunto de piezas modelo original

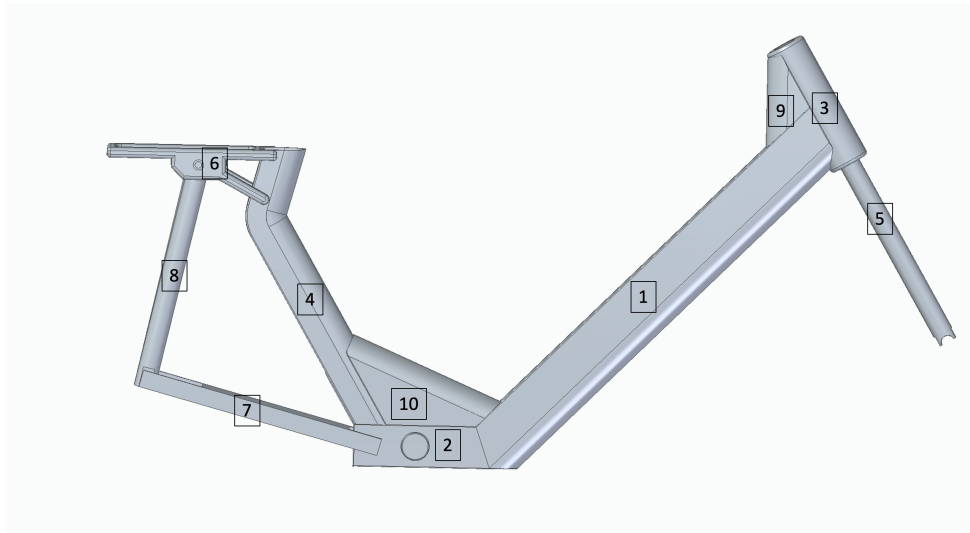


Ilustración 20 - Conjunto inicial numerado

Como hemos explicado anteriormente, nuestro modelo original está pensado y diseñado para el paseo, no estando preparado para soportar mayores esfuerzos que podrían causar otro tipo de terrenos o acciones, por ello se van a llevar a cabo tres ensayos diferentes, intentando simular esas acciones. A continuación, vamos a explicar estos ensayos y sus condiciones.

3.2.1 RECEPCIÓN DE SALTO O BAJADA

En este primer ensayo vamos a tratar de simular los esfuerzos que sufriría el cuadro al caer tras realizar un salto o una bajada desde cierta altura. Normalmente, cuando se va a realizar este tipo de acciones, el ciclista deja de estar en posición sentada y pasa a colocarse de pie sobre los pedales, apoyando así casi todo su peso. Para realizar este ensayo vamos a tener varias cosas en cuenta a la hora de definir las variables necesarias para llevarlo a cabo.

- Al tratarse de un salto, el peso del ciclista se multiplica, sufriendo así el cuadro hasta el doble del peso del propio ciclista. Aunque la amortiguación e incluso las piernas del ciclista absorben parte de esa energía, la estructura sufre bastante, por eso vamos a suponer 1500N.
- Como hemos explicado, suponemos que el ciclista estará de pie, siendo así el reparto de peso de un 80% en los pedales (1200N) y del 20% en el manillar (300N).
- Para llevar a cabo la simulación tenemos que decidir unas condiciones de contorno. Para ello, vamos a suponer como puntos fijos en el espacio los lugares donde estaría los ejes de las ruedas, y aplicar las fuerzas en los lugares anteriormente mencionados.

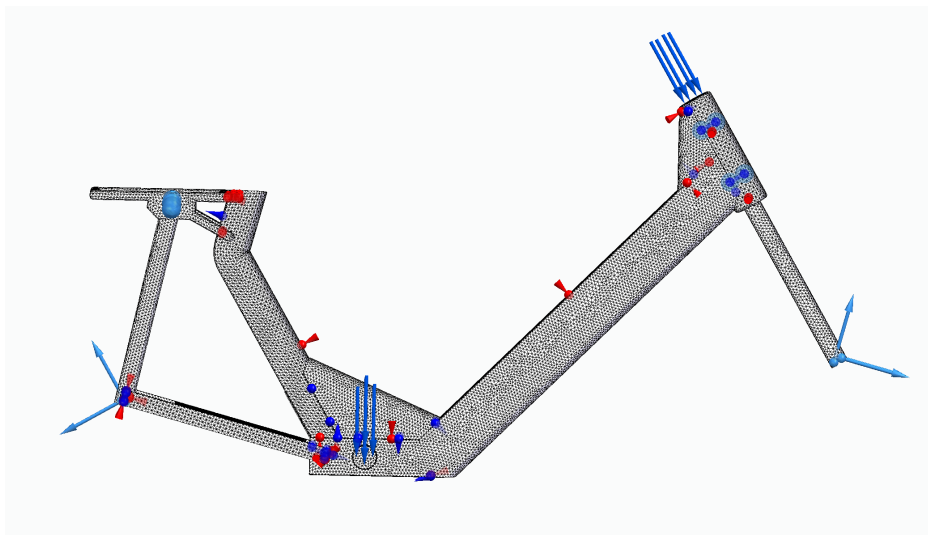


Ilustración 21 - Primer ensayo del conjunto

3.2.2 FRENADA BRUSCA

Una de las cosas más importantes de una bicicleta, como de cualquier vehículo, es una buena frenada, y cuando se realizan travesías por terrenos abrupto o desconocidos, en los que en cualquier momento algo te puede sorprender, es posible que hasta que realizar frenadas bruscas en caso de emergencia. Por eso vamos a simular una frenada de 0,8G realizado con la rueda delantera. Las variables para tener en cuenta son:

- Mismas condiciones de contorno que en el ensayo anterior, dejando fijos en el espacio los apoyos en los bujes de las ruedas.
- Cuando se realiza un frenada de este tipo, el cuadro entero sufre un momento hacia atrás, siendo el origen de este momento el centro de la rueda delantera y aplicado por el propio freno. Por ello vamos a aplicar un momento de 40Nm al cuadro.

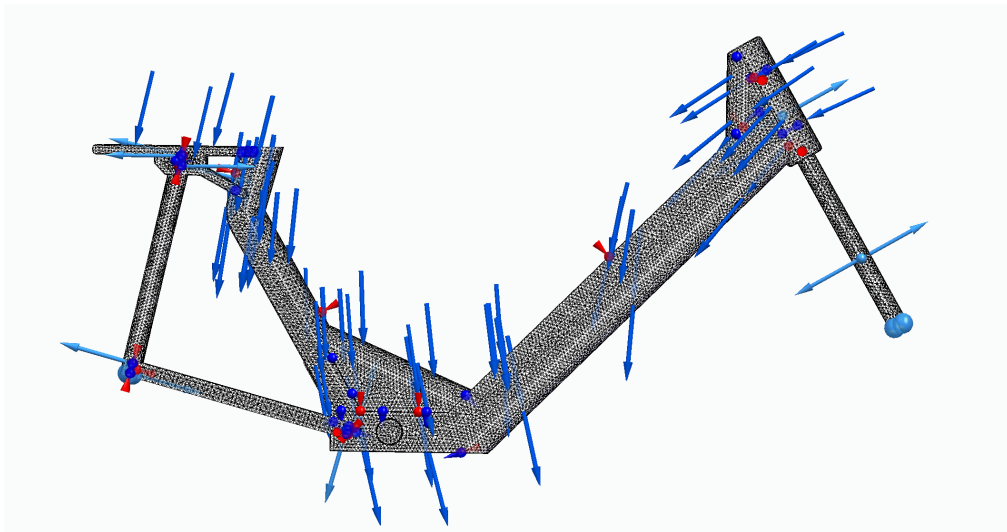


Ilustración 22 – Segundo ensayo del conjunto

3.2.3 IMPACTO EN RUEDA DELANTERA

En este ultimo ensayo vamos a analizar el resultado de pasar a gran velocidad por una elevación, como un bordillo o una roca. Para ello vamos a ejercer una carga puntual en el apoyo de la rueda delantera, que sería la que recibiría el impacto inicialmente. Las variables a tener en cuenta son:

- Mismas condiciones de contorno que en los casos anteriores, con la excepción de que dejamos libre el apoyo de la rueda delantera, que anteriormente estaba fija. Esta condición es necesaria ya que, si no se dejase libre, estaríamos aplicando fuerzas directamente en un apoyo y el ensayo no arrojaría resultado alguno.
- La carga puntual que se ejerce en el apoyo delantero es de 1000N, suficiente para simular un impacto a elevada velocidad.

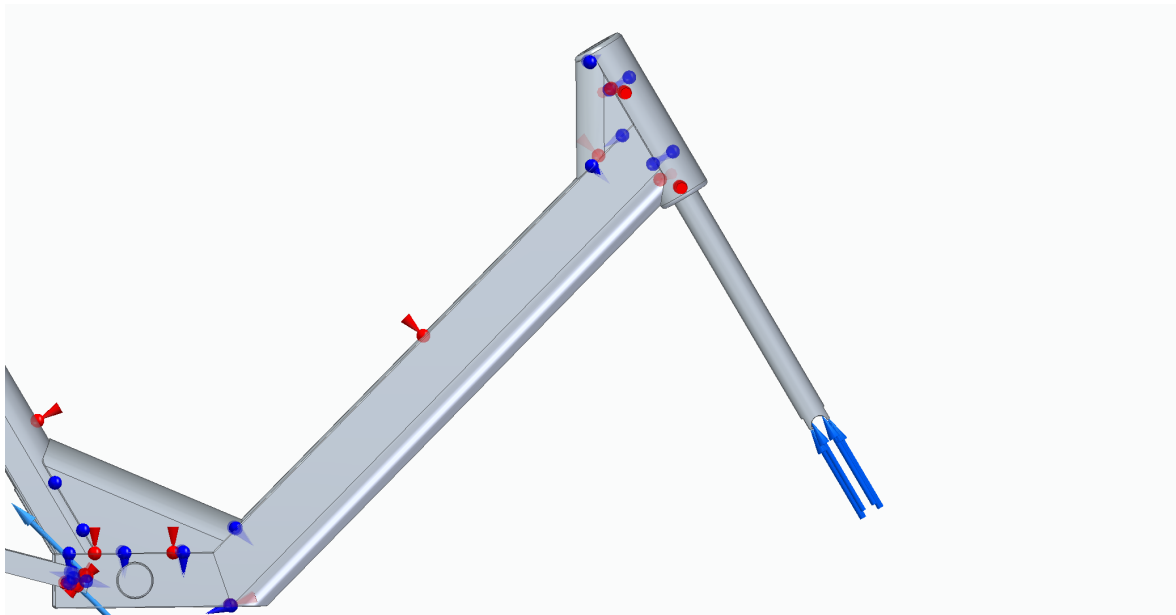


Ilustración 23 - Tercer ensayo del conjunto

3.3 CAMBIOS PROPUESTO EN EL DISEÑO

Como ya se explico anteriormente, el objetivo de este trabajo es obtener un diseño que cumpla con las condiciones estructurales necesarias al precio más económico posible, por eso habrá cambios que serán obligatorios para cumplir esas exigencias, pero otros que será recomendaciones, si lo que se busca es aun un mejor rendimiento.

3.3.1 ELEMENTOS QUE SE VAN A CAMBIAR

3.3.1.1 Cuadro

Como se ha comentado en numerosas ocasiones anteriormente, el elemento que requiere más foco es el cuadro de nuestro modelo original, ya que será el que soporte todas las cargas y el encargado de sustentar y agrupar todas las partes de este. Por ello, partiendo del modelo inicial, y tras realizar los ensayos mencionados anteriormente y su posterior análisis, se proponen dos diferentes diseños del cuadro. Se profundizará en este aspecto más adelante.

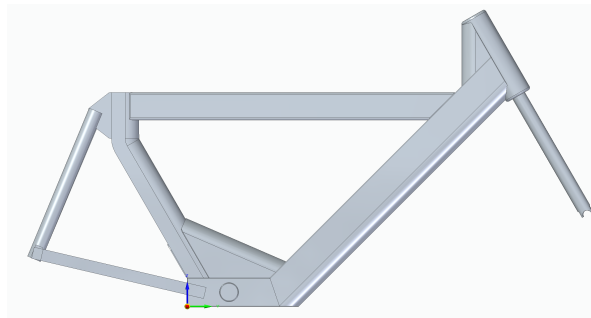


Ilustración 24 - Propuesta de cambio del cuadro modelo 1

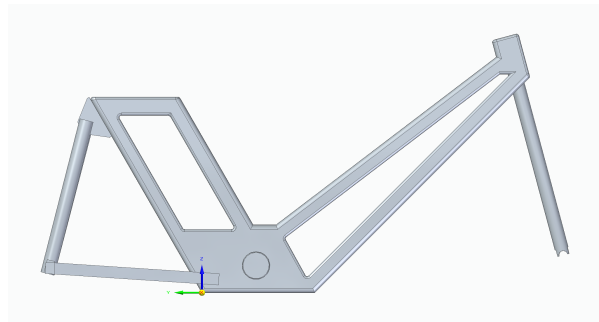


Ilustración 25 - Propuesta de cambio del cuadro modelo 2

3.3.1.2 Amortiguación

La amortiguación delantera, como se explico anteriormente, es de alta gama, siendo suficiente para el uso que le vamos a dar. Se recomienda, sin embargo, en función del uso que se le vaya a dar exactamente, elegir la dureza de esta, para acomodar su uso y escoger el recorrido de la suspensión, en función de la exigencia del terreno, usando recorridos de entre 140 a 180mm para superficies de alta exigencia.

En cuanto a la amortiguación trasera, solo los diseños de alta calidad cuentan con ella. Por eso se considera suficiente la amortiguación de muelle que viene de serie. El único cambio es el punto de anclaje, pasando del rack al soporte que se ha diseñado, como se explicará en el capitulo 4.

3.3.1.3 Manillar

El manillar original esta pensado y diseñado para el confort de los viajes por ciudad, no siendo recomendable para el uso todo terreno que estamos buscando en este trabajo. Por ello recomendamos sustituir el manillar original por un manillar recto de montaña, de aluminio, y de una longitud mínima de 500mm. Al realizar este cambio también se recomienda sustituir las empuñaduras, por unas mas cómodas y ergonómicas, para proteger mejor las muñecas.

3.3.1.4 Frenos

Se considera que los frenos originales, hidráulicos de disco de 180mm, están de sobra capacitados para el uso todo terreno al que se va a someter nuestro modelo.

3.3.1.5 Motor y batería

La decisión de estos cambios no se puede tomar tan a la ligera como con otras piezas, ya que, si se quiere aumentar las prestaciones, también aumentaría considerablemente el peso del modelo. Por ello se considera que, para nuestro caso, 52V y 750W es suficiente para cumplir con el uso deseado. Se deja a consideración del futuro usuario, si desea o no aumentar las prestaciones eléctricas del modelo.

3.3.1.6 Asiento, pedales y pantalla DLC

Aunque los elementos con los que cuenta en modelo original se consideran suficientes, estas partes se podría sustituir, a consideración del usuario, por otras más ergonómicas o resistentes, como sillín de montaña o pedales de aluminio.

Así mismo, aunque la pantalla DLC aporta suficiente información, se podría sustituir toda la parte electrónica del modelo, mejorando los sensores y la lectura de datos, para poder instalar una pantalla que aporte mucha mas información al usuario.

3.3.1.7 Neumáticos

Este es el cambio más lógico y sencillo de realizar. Los neumáticos originales, aunque no son totalmente planos, si que están pensados para paseo, para circular por superficies planas y lisas. Por ello habría que sustituirlos por unos neumáticos mixtos o de campo, que cuenta con una superficie mucho más rugosa y preparada para la adherencia en terrenos arenosos e irregulares.

Capítulo 4. ESTUDIO Y ANÁLISIS DEL CUADRO

El cuadro de nuestro modelo ha sido con diferencia la pieza clave de nuestro estudio, porque como ya se ha detallado, es la más importante de nuestro modelo inicial. En este apartado se va a detallar más en profundidad el proceso llevado a cabo en el estudio previo del modelo original, el análisis llevado a cabo, y posteriormente los diseños planteados para solucionar los problemas que surgían.

4.1 *MODELO ORIGINAL*

Como ya se ha comentado, al no tener los diseños y medidas originales, el modelo original se ha realizado de manera aproximada, creando las piezas una por una y ensamblándolas entre si. Las piezas estructurales más importantes están formadas por perfiles cuadrados o circulares de grosor de 2mm, el comúnmente utilizado en el diseño de cuadros, y el resto son un conjunto de barras metálicas que completan la estructura. El material empleado es el aluminio 5050, un metal bastante ligero y con buenas propiedades mecánicas. A continuación, vamos a entrar un poco más en detalle en algunas de las piezas más importantes.



Ilustración 27 - Modelo real inicial

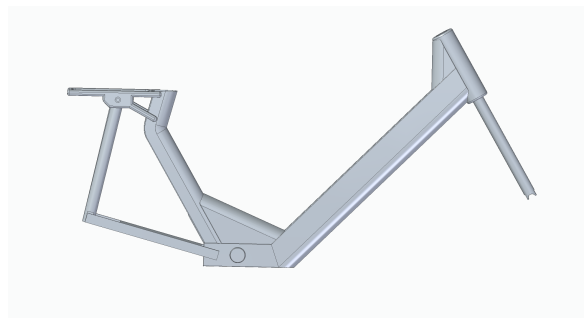


Ilustración 26 - Modelo inicial digitalizado

4.1.1 TUBO FONDO

Se empezó diseñando por esta pieza, tomándola como origen y referencia para el resto de las medidas. En esta pieza, de sección cuadrada, es donde irá colocados los pedales y en la cual enganchamos el basculante que va a la rueda trasera. Esta pieza será la pieza que más esfuerzos vaya a sufrir, pero una de las que mejor va a aguantar.

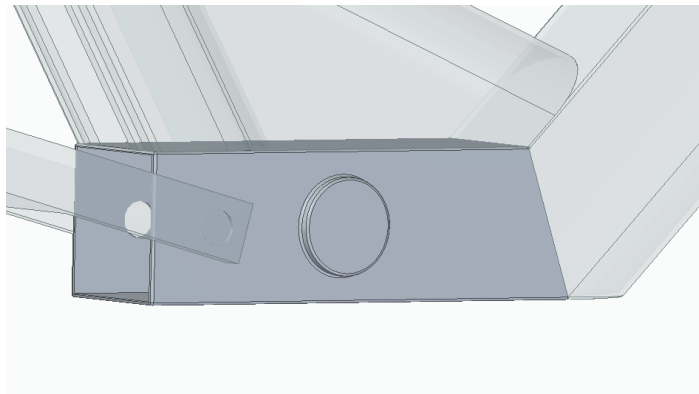


Ilustración 28 - Tubo fondo

4.1.2 TUBO INFERIOR

Este tubo es el que une el tubo del fondo con la dirección, y albergará la batería de nuestro modelo.

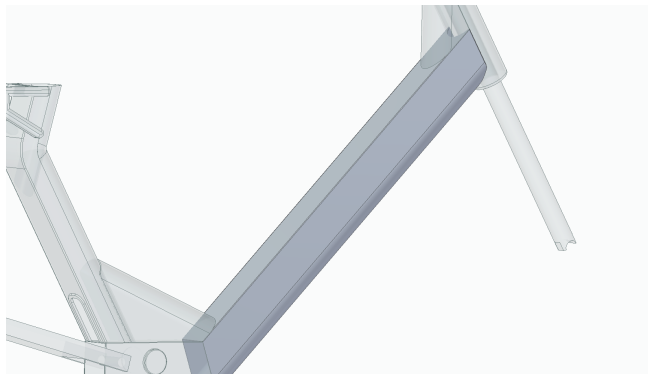


Ilustración 29 - Tubo inferior

4.1.3 TIJA DEL MANILLAR

Esta pieza alberga el eje del manillar, siendo pieza clave en la dirección y la amortiguación. Se trata de un tubo hueco de radio exterior 60mm y radio interior 30mm.

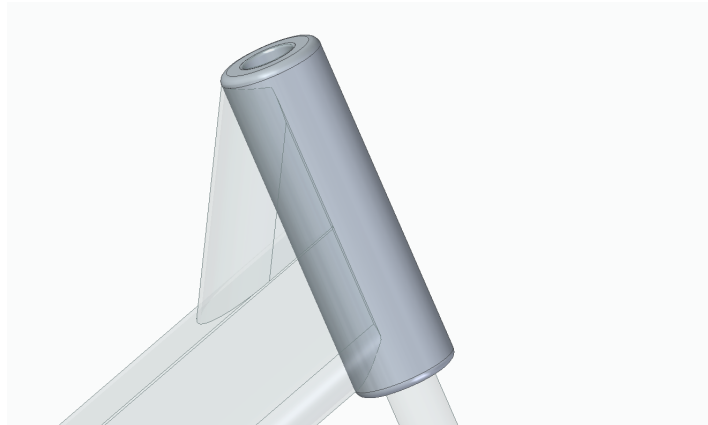


Ilustración 30 - Tija del manillar

4.1.4 TUBO DEL SILLÍN

Este tubo es el encargado de soportar mayoritariamente el peso del ciclista, ya que es el que engancha directamente con el sillín. A él se soldará directamente el rack trasero, que ayudará a esta pieza en su labor de soporte. También cuenta con una apertura trasera, por la cual entrará todo el sistema de cableado que viene desde el motor.

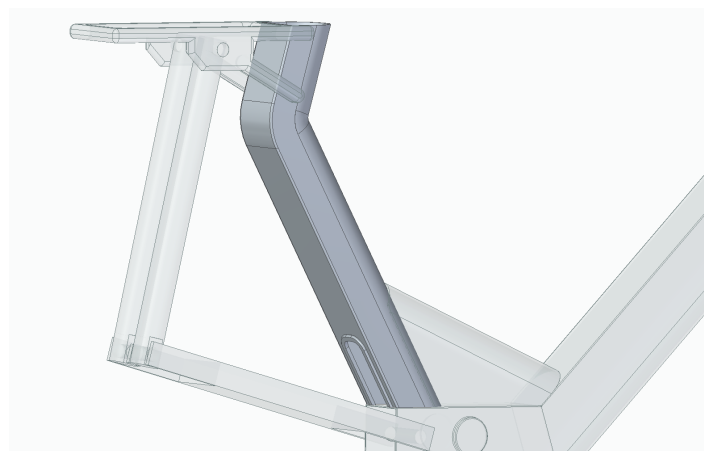


Ilustración 31 - Tubo del sillín

4.1.5 RACK TRASERO

Esta pieza se complementa a la tija del sillín, ya que también soporta el peso del ciclista. Va apoyada y soldada al extremo superior de la tija, y cuenta con un corte de sección circular en el que irán enganchados los amortiguadores traseros.

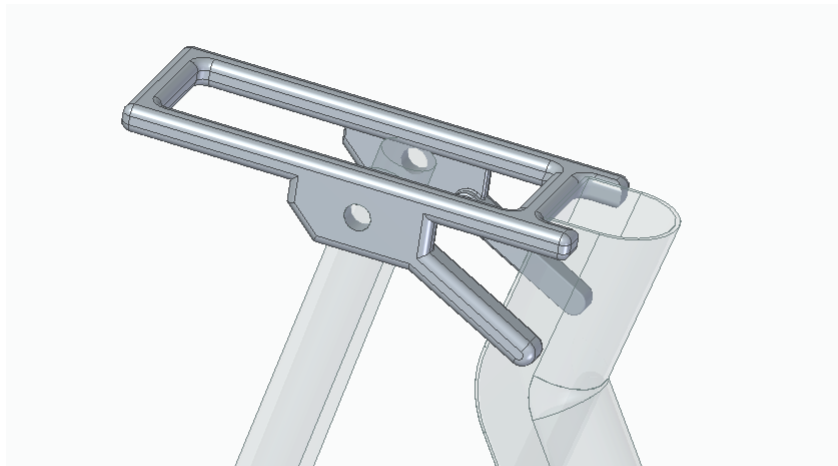


Ilustración 32 - Rack trasero

4.1.6 REFUERZO FONDO

Pieza diseñada específicamente para reforzar la unión que se produce de los tres tubos, clave a la hora de realizar los ensayos.

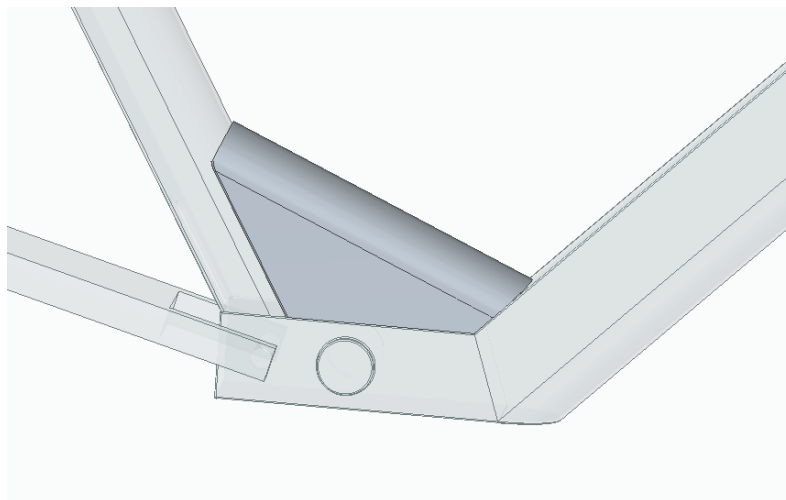


Ilustración 33 - Refuerzo del fondo

4.1.7 REFUERZO MANILLAR

Refuerzo que añadimos en la unión del tubo inferior con la tija del manillar, necesario para soportar las fuerzas que sufrirá nuestro modelo.

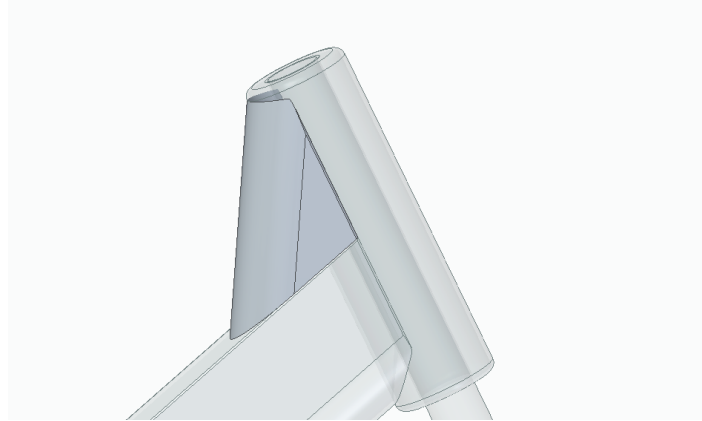


Ilustración 34 - Refuerzo del manillar

4.1.8 BASCULANTE, AMORTIGUADORES Y BARRA DIRECCIÓN

Estas piezas están diseñadas a conciencia, no para simular el diseño original, si no que son vitales para el posterior análisis que se va a realizar, ya que son las encargadas de repartir las fuerzas por nuestro diseño y necesarias para poder definir las condiciones de contorno en nuestros ensayos.



Ilustración 35 - Amortiguadores, basculante y dirección

4.2 ENSAYOS ESTRUCTURALES

En este punto vamos a desarrollar como se ha llevado a cabo los tres ensayos que hemos presentado anteriormente.

4.2.1 RECEPCIÓN DE SALTO O BAJADA

Lo primero de todo, una vez que tenemos nuestro conjunto, es definir que piezas van a formar parte de nuestro estudio. En nuestros casos, lo harán el conjunto de todas las piezas.

En segundo lugar, tendremos que definir las fuerzas que va a sufrir nuestro modelo. Como ya hemos contado, se aplicarán las fuerzas en el lugar donde estaría situado el pedalier y en el manillar.

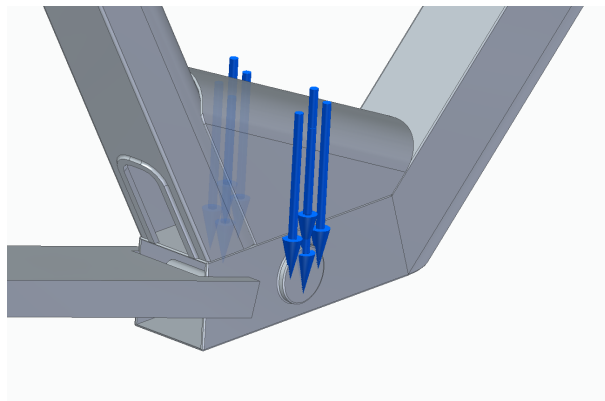


Ilustración 36 - Fuerzas aplicadas en pedalier(1200N)

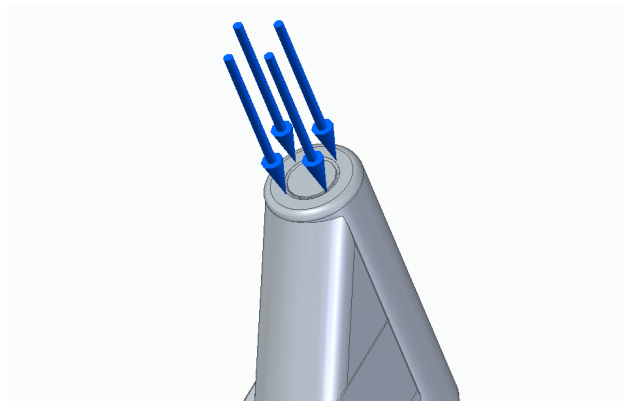


Ilustración 37 - Fuerza aplicada en manillar(300N)

A continuación, tenemos que fijar las condiciones de contorno, clave para el estudio. Se ha definido como puntos fijos en el espacio los soportes donde irían sujetas las ruedas de nuestro modelo, es decir, en el eje de la dirección y en el basculante. También se ha definido como eje de rotación libre los puntos de unión del basculante, los amortiguadores y el eje de dirección. Tras esto, habrá que evaluar los puntos de contacto entre todas las piezas del conjunto.

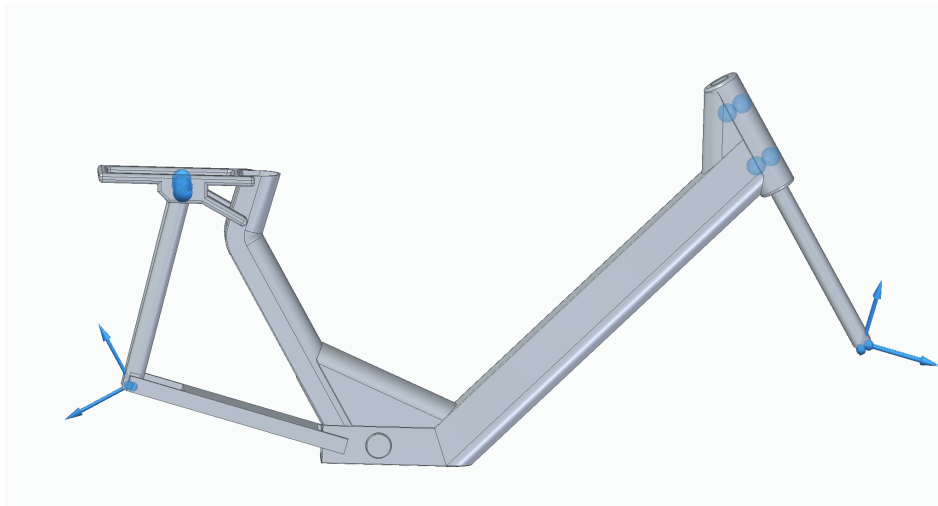


Ilustración 38 - Condiciones de contorno

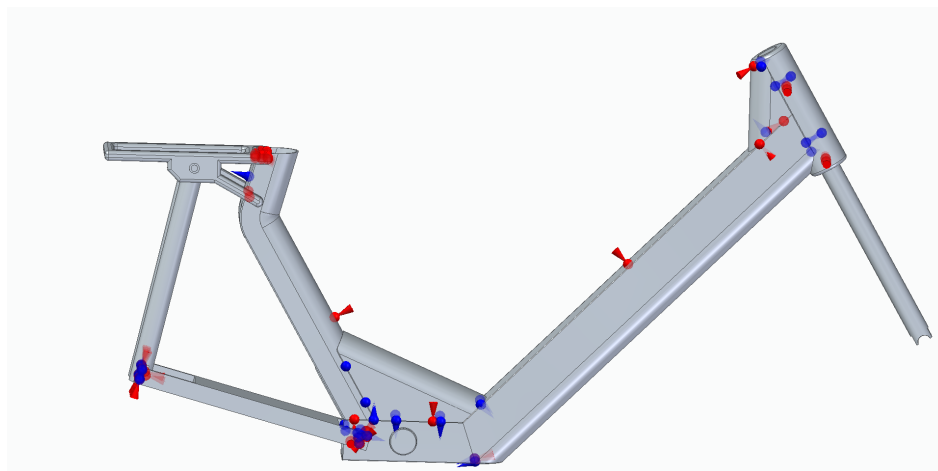


Ilustración 39 - Contacto entre piezas

Por ultimo, procedemos a realizar el mallado del conjunto. Esta parte es la más crítica, ya que si haber realizado correctamente todos los pasos anteriores y sin un buen diseño, podremos tener muchos problemas, y no realizar el ensayo correctamente.

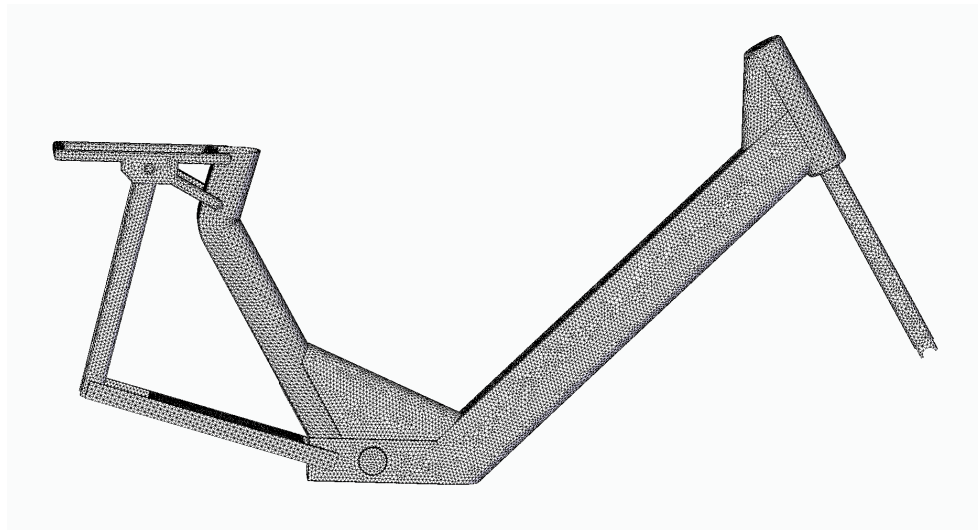


Ilustración 40 - Mallado del modelo

Una vez tenemos todo esto, el programa resuelve iterativamente nuestro ensayo, realizando miles de cálculos, para obtener un resultado. Los datos que se van a reflejar son los de desplazamiento de nuestro conjunto y los esfuerzos de Von Mises.

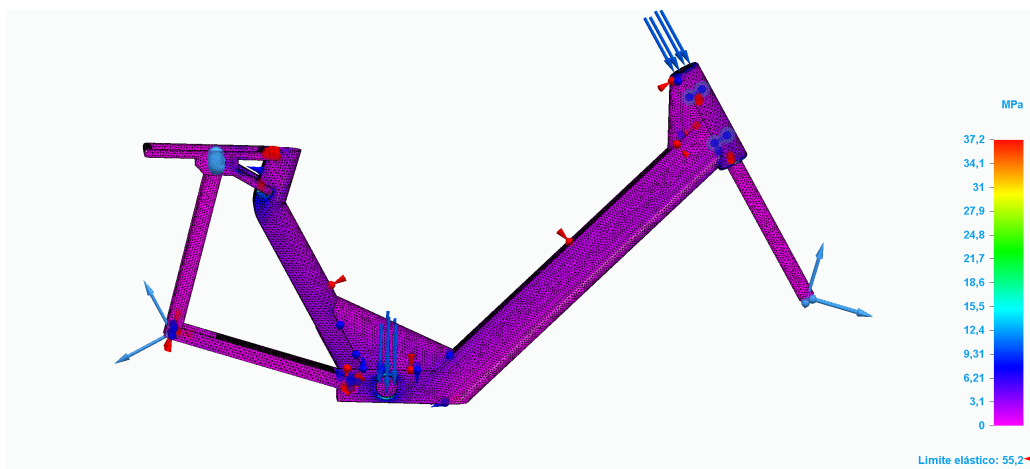


Ilustración 41 - Resultado de esfuerzos de VM (ensayo 1)

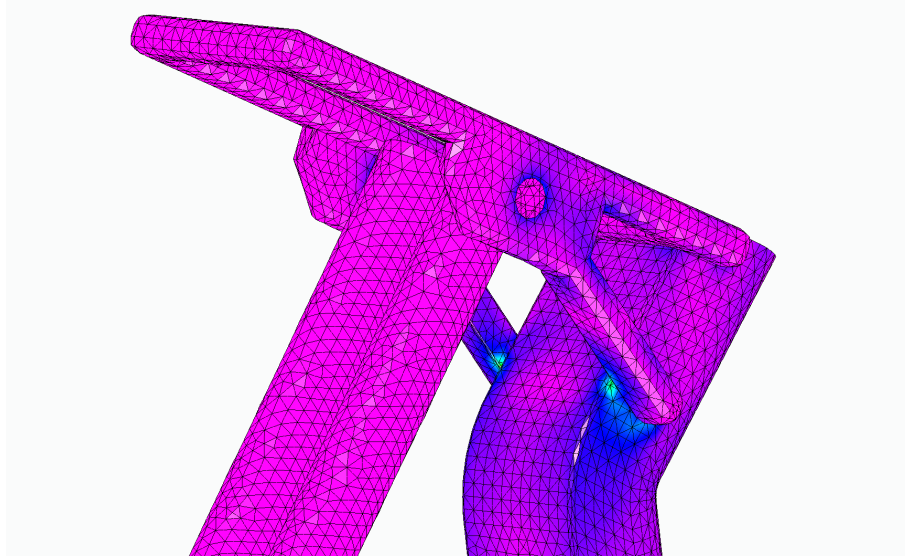


Ilustración 42 - Resultados esfuerzo VM en Rack (ensayo1)

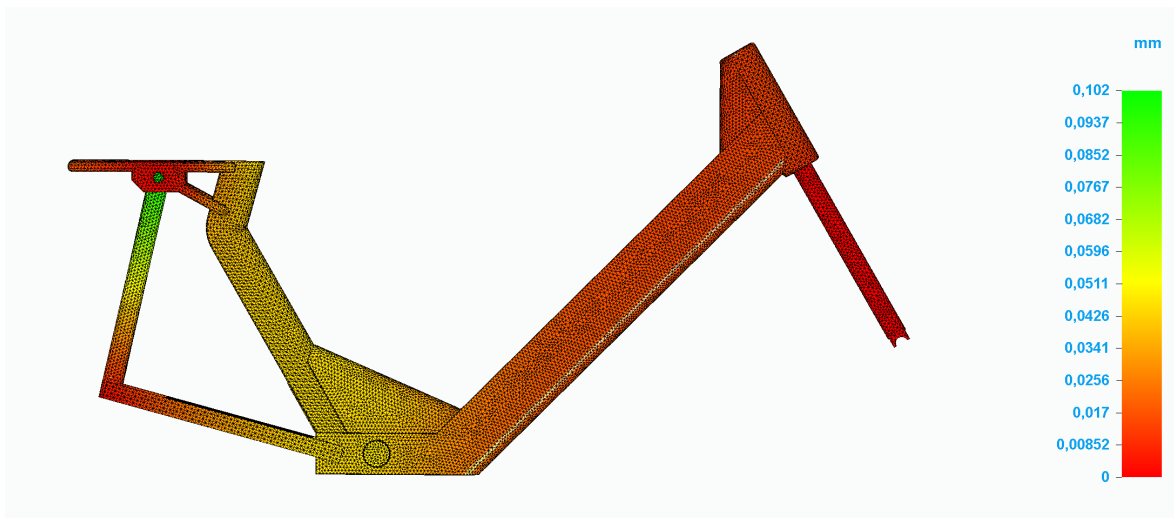


Ilustración 43 - Resultados de los desplazamientos (ensayo1)

Como se observa en la primera imagen, el diseño aguanta las fuerzas aplicadas, sin llegar a la fluencia, pero tiene un factor de seguridad inferior a 2. Siendo un elemento estructural tan importante, y de la cual va a depender la integridad del ciclista, se considera que no es suficiente, y es necesario mejorar el diseño. Además, en la segunda imagen podemos ver esfuerzos puntuales bastante altos en la unión del rack con el tubo del sillín, lo que puede llegar a darnos problemas con el tiempo.

4.2.2 FRENADA BRUSCA

En este ensayo, las condiciones son idénticas a las del anterior, con la diferencia que, en vez de aplicar fuerzas, aplicaremos un momento de 40Nm a todo el conjunto con origen en el apoyo de la rueda delantera.

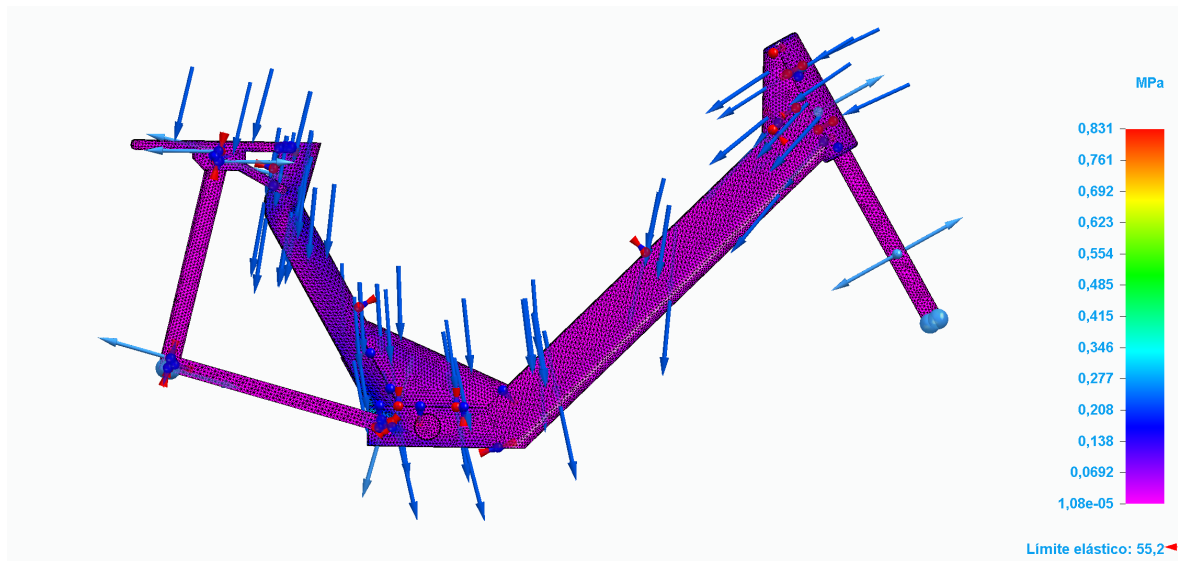


Ilustración 44 - Resultados de esfuerzos de VM (ensayo 2)

Analizando los resultados, se ve claramente que los esfuerzos que sufre la estructura al realizar una frenada brusca son casi despreciables. Podemos confirmar por lo tanto que la estructura puede aguantar este tipo de accione sin problema, por lo que no se va a seguir estudiando este tipo de ensayos.

4.2.3 IMPACTO EN RUEDA DELANTERA

Como ya se ha explicado, suponiendo un impacto vertical en el apoyo de la rueda delantera de 1000N, vamos a simular los esfuerzos que sufriría la estructura al pasara a gran velocidad por un bordillo o una roca. Por la naturaleza de la fuerza, se puede proveer que la estructura sufra esfuerzos considerablemente elevados y desplazamientos mayores a lo habitual.

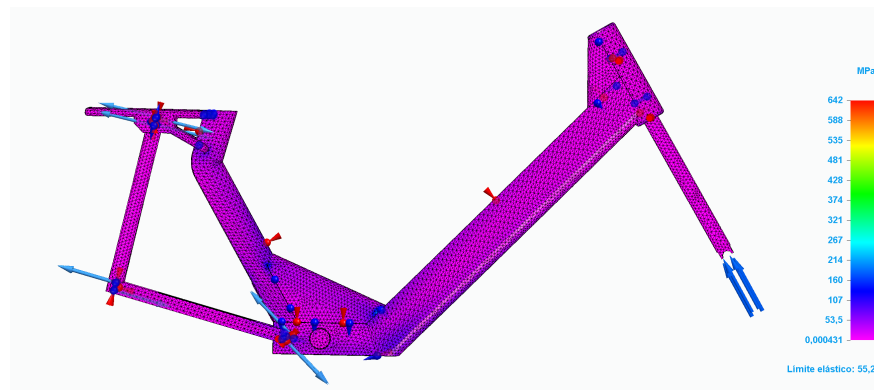


Ilustración 45 - Resultados de esfuerzo de VM (ensayo 3)

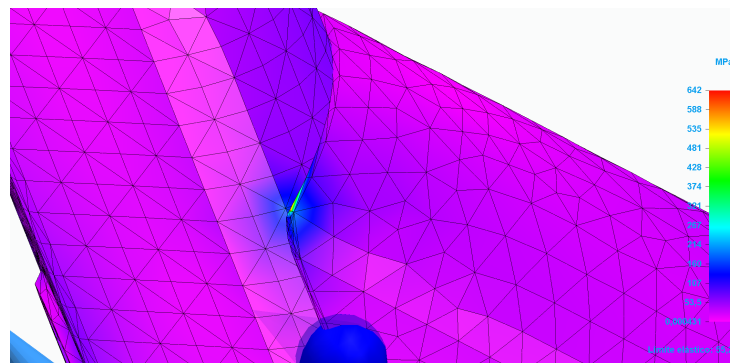


Ilustración 46 - Punto crítico en el refuerzo del fondo (ensayo 3)

Como podemos observar, los esfuerzos que sufre la estructura son muy elevados, muy por encima del modulo de fluencia del material. Si bien es verdad que la estructura sufre esos esfuerzos de manera muy homogénea, se generan algunos puntos de concentración de tensiones, los cuales son críticos para mantener la integridad de la estructura.

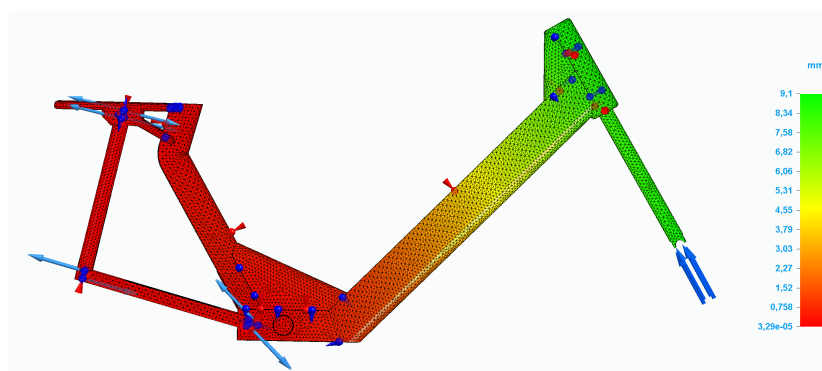


Ilustración 47 - Resultado de los desplazamientos (ensayo 3)

También observamos, como habíamos predicho, que hay grandes deformaciones de la parte delantera. La tija del manillar tiende a desplazarse a la izquierda, cerrando el ángulo que forma la estructura, absorbiendo el tubo inferior casi toda la carga por flexión.

Concluimos, por lo tanto, que el diseño original ha de ser revisado y reforzado para poder soportar los esfuerzos producidos en los ensayos.

4.3 DESARROLLO DEL MODELO 1

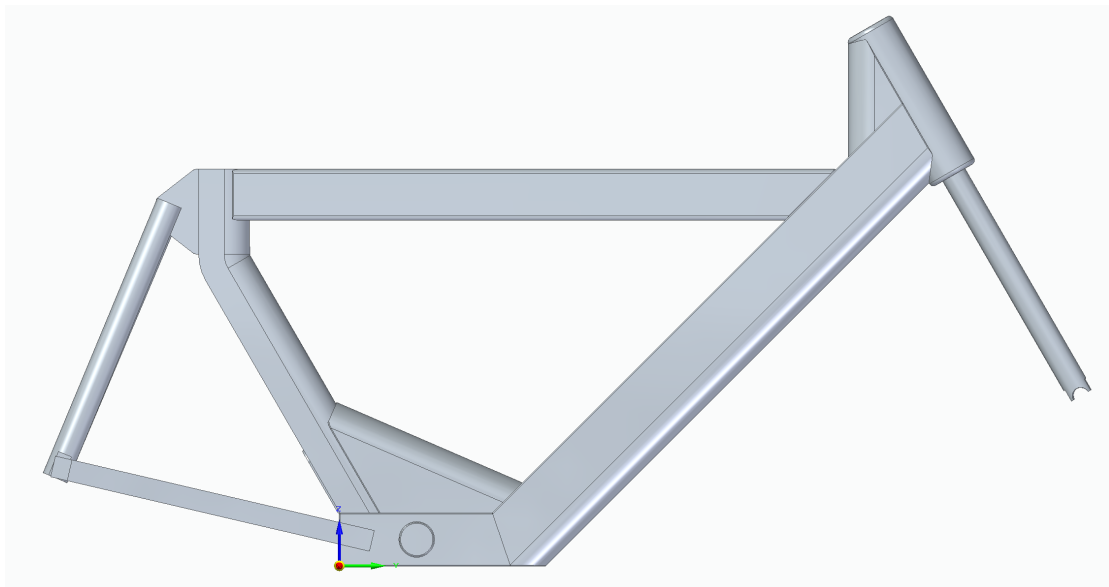


Ilustración 48 - Propuesta de diseño (modelo 1)

4.3.1 CAMBIOS PROPUESTOS

Analizando con detenimiento los resultados obtenidos en los tres ensayos realizados al modelo inicial, se propone un diseño similar con dos importantes cambios que mejoren la estructura inicial, un soporte de amortiguación trasero y un tubo superior horizontal, uniendo los dos extremos superiores del cuadro.

4.3.1.1 Soporte de amortiguación trasera

La amortiguación trasera estaba originalmente unida al rack trasero, sobre el cual iba el sillín. Esta distribución no era del todo eficiente, y generaba unos esfuerzos de flexión fácilmente subsanables. Para ello se ha sustituido el rack por un soporte trasero de amortiguación directamente soldado al tubo del sillín, lo que aporta mas integridad a la estructura.

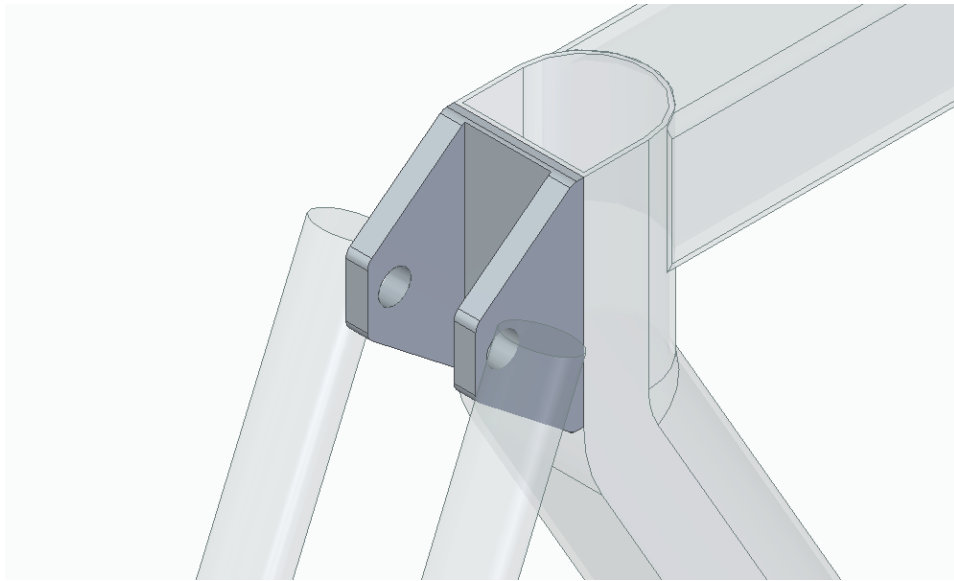


Ilustración 49 - Soporte de amortiguación trasera (modelo 1)

4.3.1.2 Tubo superior

Como se podía ver claramente en el resultado del ensayo 3, la estructura no esta pensada para sufrir ese tipo de esfuerzos, ya que no hay nada que se oponga a ellos. Por eso se ha decidido implementar el tubo superior, uniendo así la parte superior del tubo del sillín, (al cual se le ha reducido el ángulo del ultimo tramo, para reducir tensiones y ampliar la superficie disponible para el ciclista) con el extremo opuesto de la estructura. Este tubo horizontal se opondrá al momento flector, convirtiéndolo en axil, y aumentando la resistencia de la estructura.

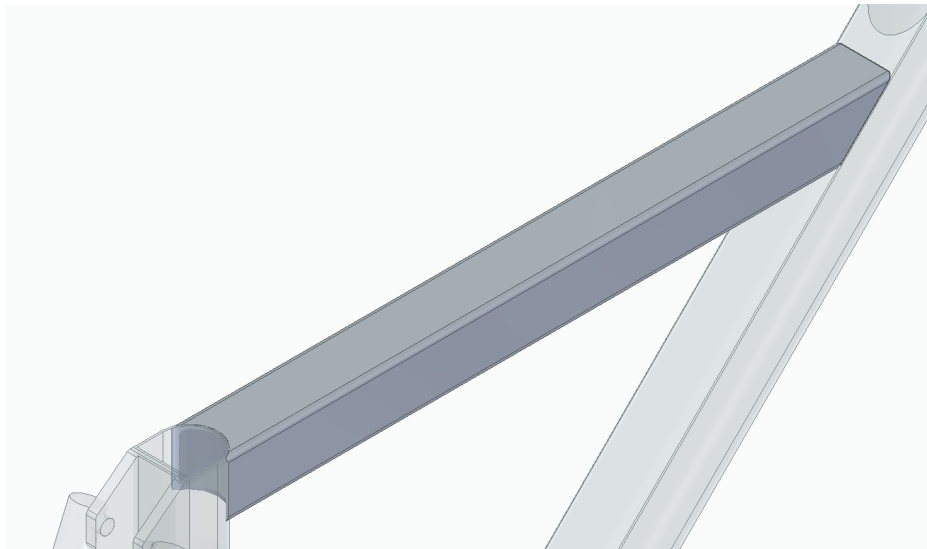


Ilustración 50 - Tubo superior (modelo 1)

Con estos cambios que se han propuesto, se va a realizar de nuevos los ensayos (el primero y el tercero), para ver si mejoran o no la estructura, o si hay que buscar otras soluciones.

4.3.2 RECEPCIÓN DE SALTO O BAJADA

Vamos a aplicar las mismas condiciones de contorno, estructurales y de fuerza que se aplicaron con el modelo inicial. Para ello hay que seguir el mismo procedimiento explicado anteriormente.

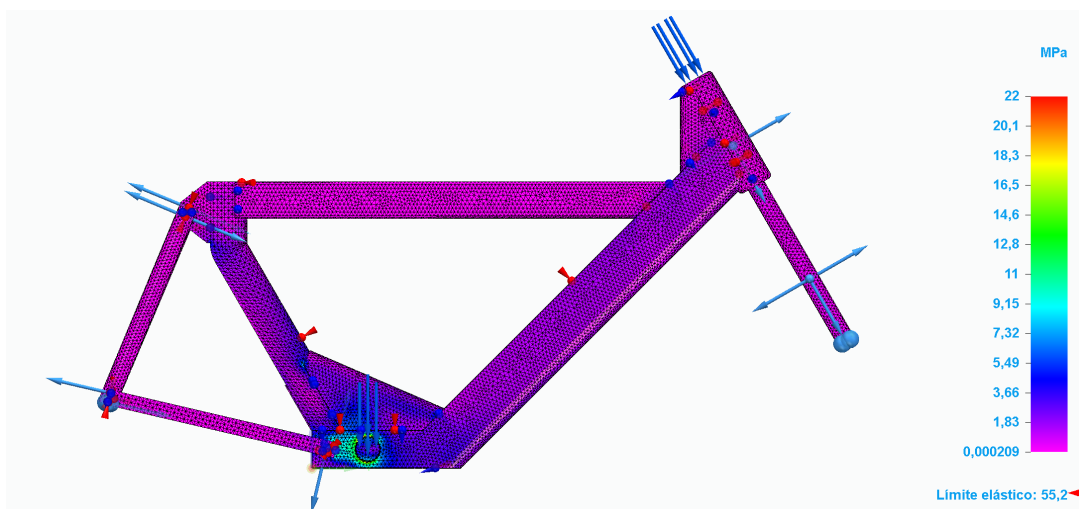


Ilustración 51 - Resultados de esfuerzos VM en modelo 1 (ensayo 1)

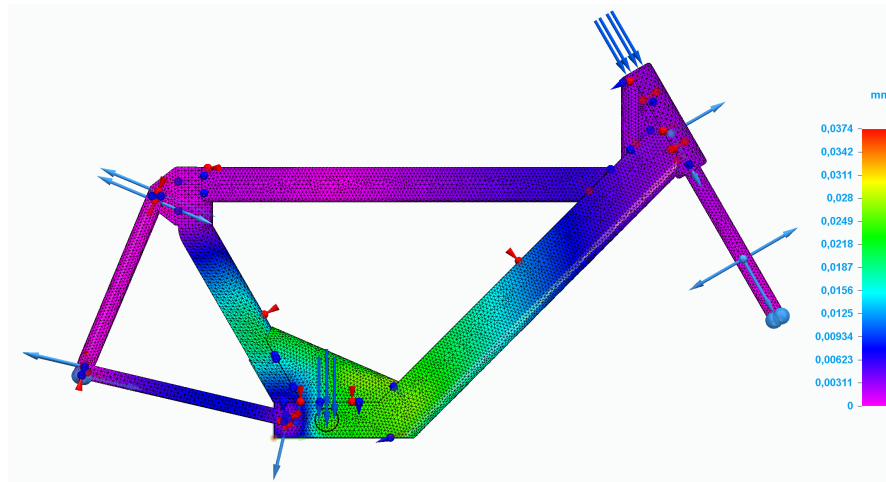


Ilustración 52 - Resultado de desplazamientos en modelo 1 (ensayo 1)

Analizando los resultados enseguida podemos ver que los esfuerzos y los desplazamientos se han reducido enormemente, cumpliendo con el objetivo propuesto anteriormente de tener un factor de seguridad superior a 2. Aunque se produce un pequeño punto de concentración de tensiones en la zona de la pedalera, no son esfuerzos muy elevados, y se subsanaría con facilidad, añadiendo juntas protectoras que absorban parte de los esfuerzos.

4.3.3 IMPACTO EN RUEDA DELANTERA

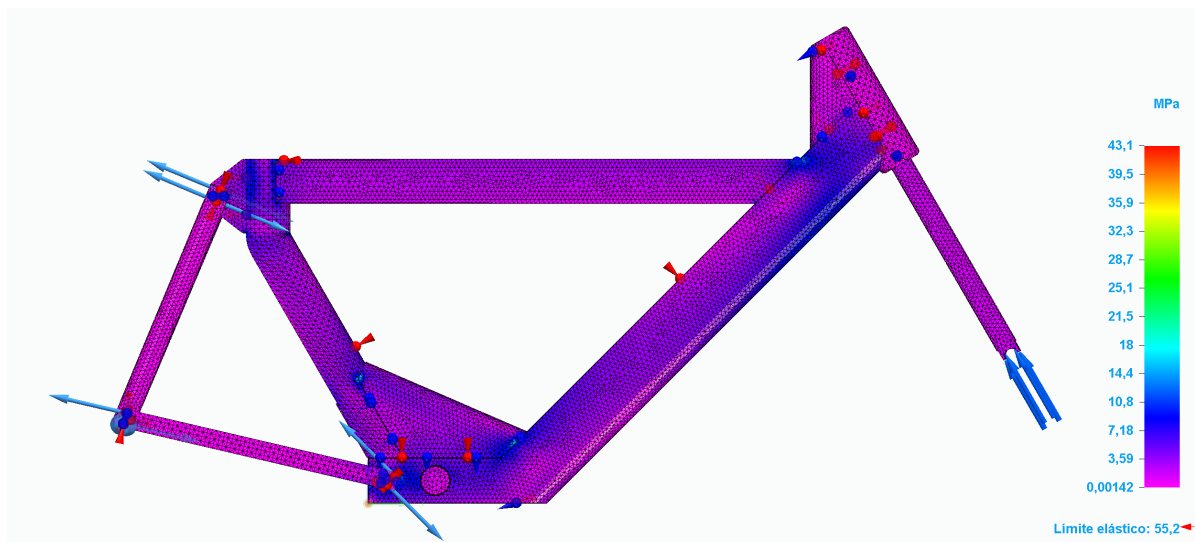


Ilustración 53 - Resultado de esfuerzos de VM en modelo 1 (ensayo 3)

Como podemos observar, al añadir el tubo superior, los esfuerzos sufridos por la estructura se han reducido enormemente, al igual que los desplazamientos, pero en este caso, a pesar de ser inferior al módulo de fluencia, no cumplen con el requisito de tener un factor de seguridad superior a 2.

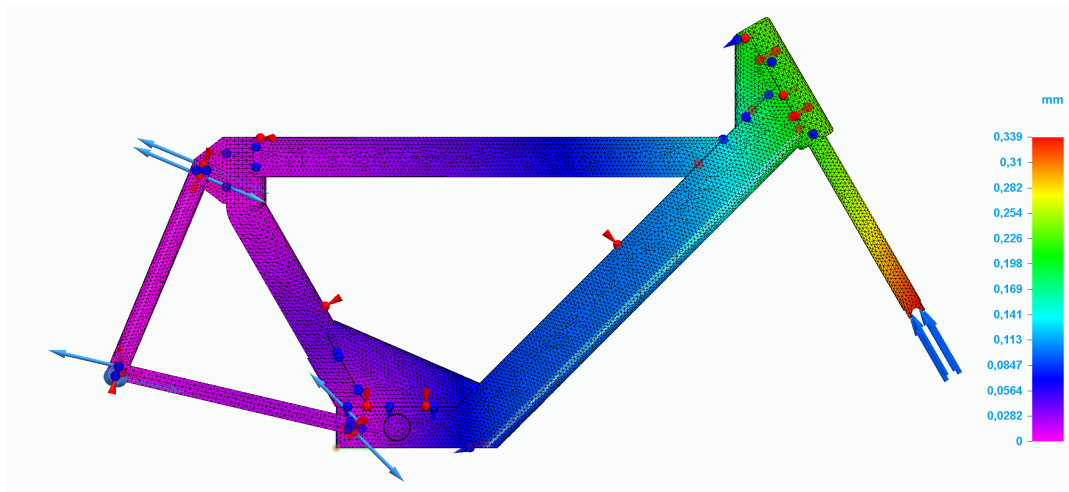


Ilustración 54 - Resultados de desplazamientos modelo 1 (ensayo 3)

4.3.4 CONCLUSIONES DEL MODELO 1

Tras realizar las pruebas con el modelo propuesto, podemos concluir que el tubo superior añadido, mejora sin lugar a duda las prestaciones de la estructura, y a pesar de no cumplir al 100% las exigencias necesarias, es un buen punto de partida para seguir mejorando el diseño.

A pesar de ello, hay que tener en cuenta algo importante para este caso. En el mundo del ciclismo y la automoción, es casi tan importante un buen diseño estructural como el diseño estético, y eso es más complejo aún.

El diseño de partida, como se explica al principio de este trabajo, tiene un estilo, una esencia, una personalidad. Los diseños “moped”, como en este caso, tienen una estructura muy singular, ya que carecen de tubo superior, limitándola a nivel mecánico en pos de la estética. Por ello, al añadir ese tubo horizontal en el diseño, a pesar de mejorar la estructura, se aleja de la esencia original del diseño, lo que podría reducir el impacto deseado en el mercado. Hay que tratar de buscar una solución que satisfaga ambos diseños.

4.4 DESARROLLO DEL MODELO 2

Como se ha comentado en el punto anterior, hay que tratar de buscar un modelo que cumpla a nivel estructural con las exigencias mecánicas, e intentar mantener intacta la esencia del modelo original. Este diseño, a pesar de estar basando en el modelo original, dista un poco de la estructura inicial. Eso es debido a que esta formado por una única pieza centra.

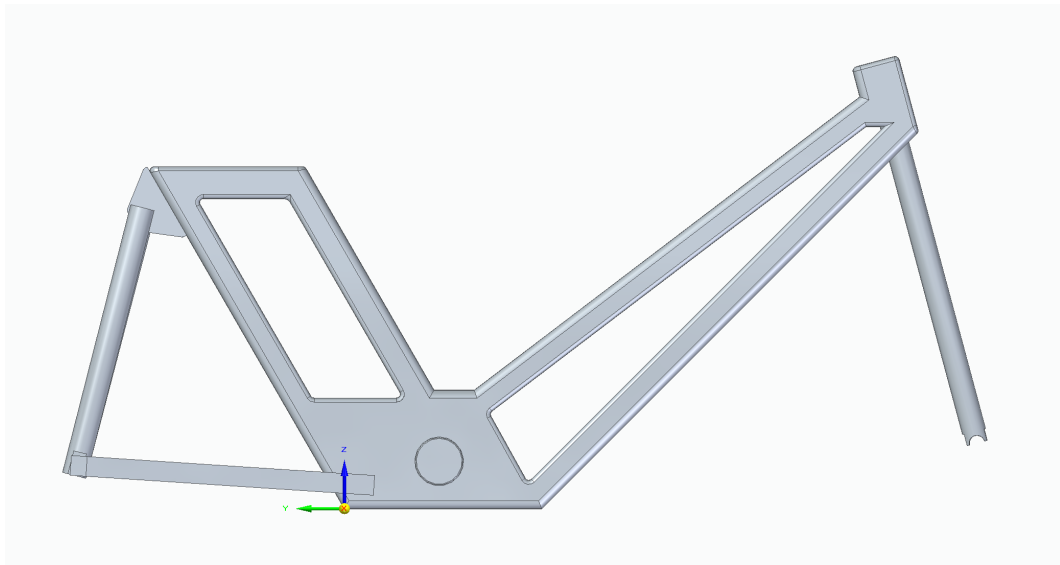


Ilustración 55 - Propuesta de diseño (modelo 2)

4.4.1 CAMBIOS PROPUESTOS

4.4.1.1 Pieza central

Con el objetivo de mantener la esencia del modelo original mejorando las prestaciones mecánicas, el diseño que se propone cuenta con una pieza central que sustituye a los tubos del fondo, al inferior y al del sillín. El diseño de esta pieza parte del tubo de fondo original (se puede apreciar la similitud a simple vista) y de ella dos estructuras que van hacia el asiento y el manillar. El conducto del manillar está directamente realizado en la pieza y la zona del sillín es considerablemente más alargada que antes.

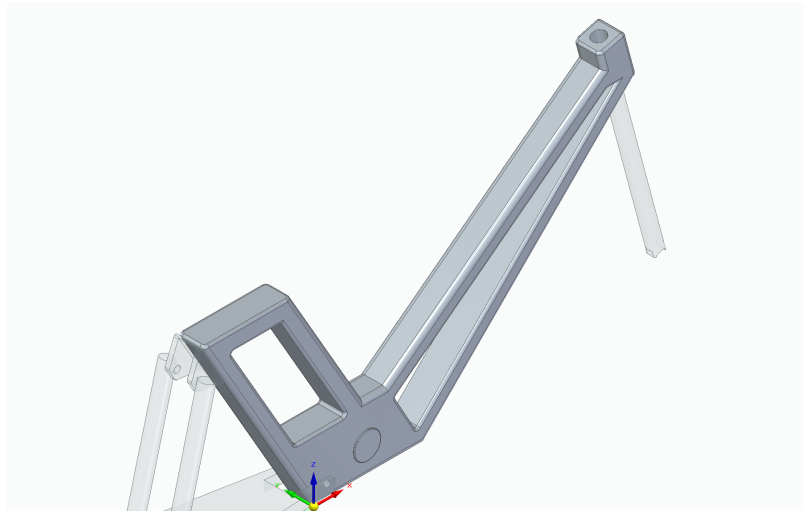


Ilustración 56 - pieza central (modelo 2)

Este gran cambio debería aportar muchísima más integridad y resistencia a la estructura. Para comprobarlo, vamos a realizar los ensayos en este modelo.

4.4.2 RECEPCIÓN DE SALTO O BAJADA

Aplicando las condiciones del primer ensayo en este modelo, obtenemos unos resultados enormemente mejores que todos los casos anteriores.

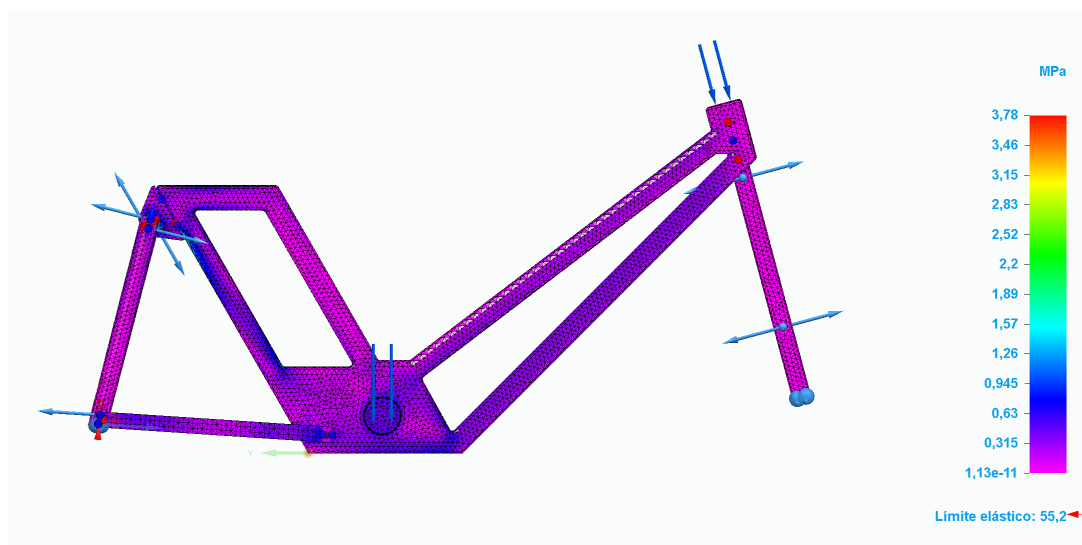


Ilustración 57 - Resultados de esfuerzos de VM en modelo 2 (ensayo 1)

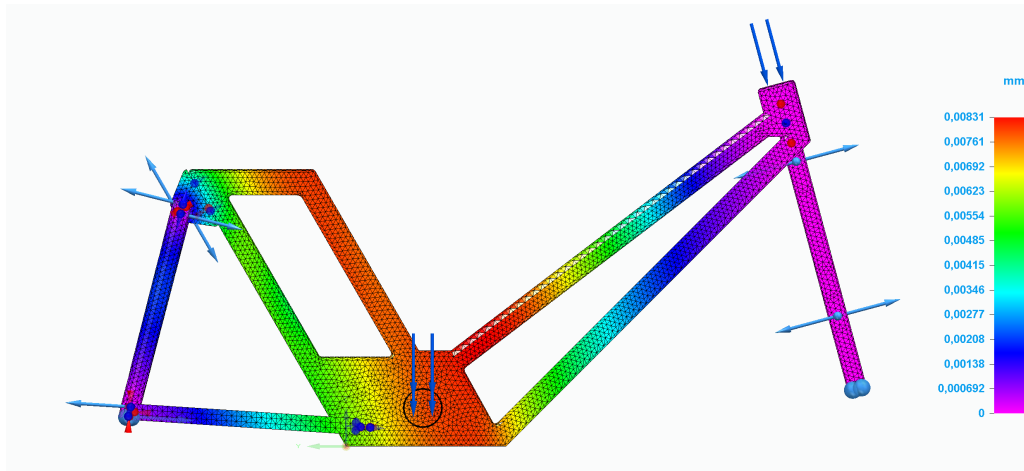


Ilustración 58 - Resultados de desplazamientos en modelo 2 (ensayo 1)

Viendo los valores de las tensiones y los desplazamientos casi nulos, esta estructura cumple sobradamente con los criterios que se buscaban.

4.4.3 IMPACTO EN RUEDA DELANTERA

A la vista de los resultados obtenidos en este ensayo con el modelo 1, esta prueba será la que indique si este modelo cumple o no con los requisitos que imponemos.

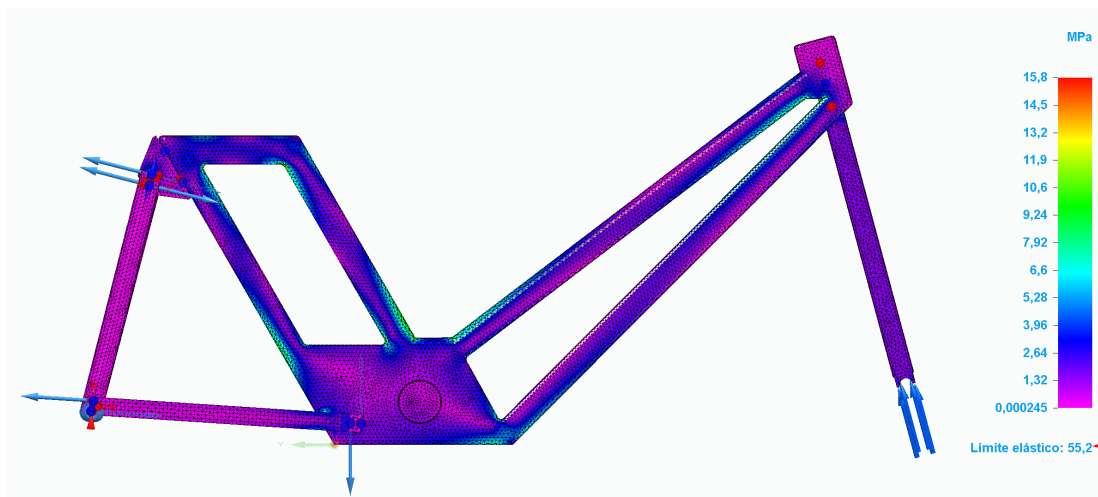


Ilustración 59 - Resultados de esfuerzos de VM en modelo 2 (ensayo 3)

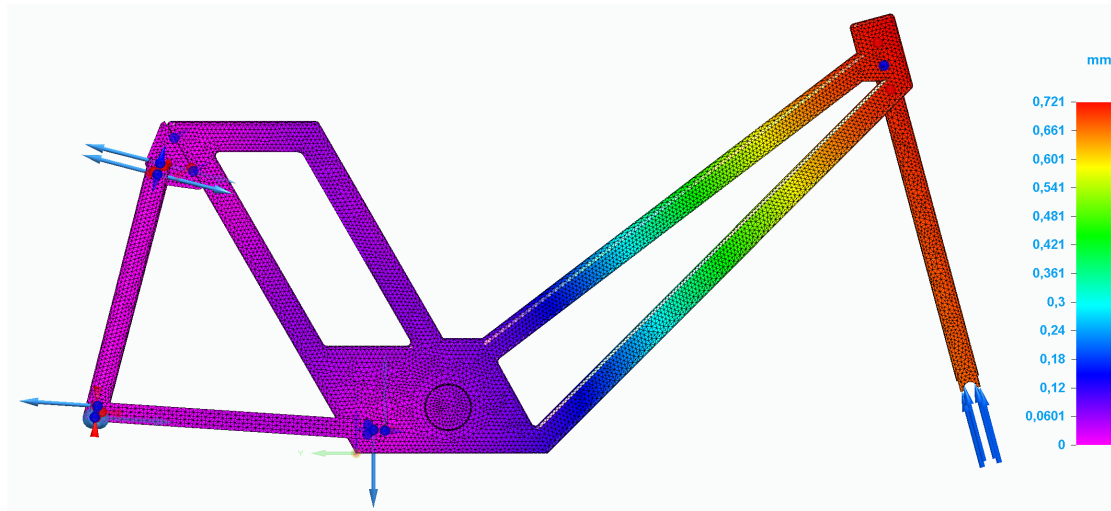


Ilustración 60 - Resultados de desplazamientos en modelo 2 (ensayo 3)

Viendo los buenos resultados que ofrece este ensayo, con apenas deformación y un factor de seguridad de casi 3.5, podemos afirmar que este modelo cumple con los requisitos que imponíamos.

4.4.4 CONCLUSIÓN MODELO 2

A la vista de lo obtenido tras los ensayos del modelo dos, concluimos definitivamente que supera con creces las condiciones que se requerían, tanto a nivel estructural como a nivel estético. Por eso, se considera que el modelo dos, es la mejor opción para implementar en nuestro modelo, sustituyendo el cuadro original.

Capítulo 5. PRESUPUESTO

La siguiente lista de presupuestos esta elaborada de manera aproximada en función de los datos y la información recabada al realizar el trabajo y disponible en la pagina web del modelo original.

5.1 *MODELO ORIGINAL*

El valor de mercado del modelo original desde el que se parte, obtenido a través del propio fabricante es de 2.199 dólares, es decir, 1860 euros aproximadamente. Partimos de la premisa de que este es el precio final del producto al que el usuario lo puede obtener. Nuestro objetivo ahora es contabilizar los sobrecostes que tendrían los modelos propuestos y analizar si la inversión tiene sentido.

5.2 *MODELO 1*

En este modelo los cambios son muy sencillos, ya que solo se añade un tubo nuevo y se sustituye una pieza por otra. Se considera que, al eliminar una pieza más compleja por una más simple, pero que requiere más material, no hay una variación de coste notable, a diferencia de la implementación del tubo superior.

	Coste individual	Coste producción en masa (1000 unidades)
Tubo superior de aluminio 5050	10€/tubo	6€/tubo
Soldadura Mano de obra (20 euros/h)	40€	24€
Sobrecoste total (por modelo)	50€	30€

Tabla 4 - Sobrecostes del modelo 1

El sobrecoste de fabricación para el primer modelo sería muy reducido, y aunque no sería definitivo, aporta mejoras sustanciales al modelo original, lo que haría factible su desarrollo, teniendo en cuenta lo comentado anteriormente con el cambio de estructura y de diseño estético, que podría reducir el interés del mercado.

5.3 *MODELO 2*

En este caso, los cambios son algo más complicados, porque se sustituye el cuadro entero. Al carecer de información de costes reales sobre el modelo original, se a realizado una aproximación de este con el valor inicial del mismo y un compendio de valores de otros cuadros del mercado, suponiendo un precio aproximado de 600€. De la misma manera, analizando el tamaño y el material empleado, se supone un costo del cuadro del modelo dos de 800€. Al igual que en el modelo anterior, solo se tendrá en cuenta este cambio.

	Coste individual	Coste producción en masa (1000 unidades)
Diferencia coste cuadros	200€	120€
Soldadura Mano de obra (20 euros/h)	80€	48€
Sobrecoste total (por modelo)	280€	168€

Tabla 5 - Sobrecostes del modelo 2

En ambos modelos se ha estimado un ahorro de producción en masa del 40% por unidad, al producir 1000 unidades, lo que mejora en gran medida los costes económicos. En este modelo, además, como mejoramos enormemente las prestaciones mecánicas y de diseño, el precio de venta del modelo puede también elevarse, llegando incluso a los 2200€, cubriendo así los costes del nuevo modelo.

Capítulo 6. CONCLUSIONES

Tras el exhaustivo análisis realizado en este trabajo y los resultados obtenidos, podemos concluir lo siguiente:

- El modelo original, diseñado para el uso de paseo, aunque sea de alta calidad, no está preparado mecánicamente para soportar los esfuerzos que causaría el uso todoterreno.
- Los modelos propuestos mejoran sustancialmente la estructura, soportando los esfuerzos simulados, y cumpliendo los requisitos impuestos y siendo económicamente viable.
- El segundo modelo cumple sobradamente con las expectativas esperadas, soportando con holgura los esfuerzos aplicados, con unos factores de seguridad muy elevados, y cumpliendo con los diseños estéticos que exige el modelo original.
- A pesar de que los resultados obtenidos son bastante aceptables, si contásemos con las medidas reales y los materiales empleados en el modelo original, se podría obtener una solución mucho más real y aproximada.

Capítulo 7. FUTUROS TRABAJOS

Tras realizar en este trabajo el análisis estructural del cuadro, se proponen diferentes trabajos a realizar tras este.

Se podría analizar mecánicamente el comportamiento de la amortiguación de nuestro modelo, tanto en la parte delantera como trasera, pudiendo optimizar así su comportamiento ante diferentes situaciones.

Analizar eléctricamente el comportamiento del motor y la batería, pudiendo cambiar alguna de estas piezas para mejorar la propulsión del modelo o el tiempo de uso. También se podrían realizar mejoras electrónicas en los sensores y sistemas de información, para obtener más datos a tiempo real del uso de la batería y el motor.

Capítulo 8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] GIL BORONAT, Carlos: *Conversión scrambler de una motocicleta*. 2018. *Universidad Pontificia Comillas*
- [2] NARANJO HIPOLITO, Miguel Ángel: *Estudio a fatiga de un cuadro de bicicleta mediante el método de elementos finitos*. 2015. *Universidad Carlos III Madrid*
- [3] ESTÉVEZ FERNÁNDEZ, Daniel: *Modelo y simulación dinámica de bicicleta de montaña*. 2012. *Universidad de Almería*
- [4] Web Oficial Juiced Bikes - <https://www.juicedbikes.com>
- [5] Comparador Juiced Bikes - <https://www.juicedbikes.com/pages/compare-all-bikes>
- [6] Iberobikes - <https://www.iberobike.com/tipos-de-bicicletas-electricas-que-ebike-es-mejor-motores-baterias/>
- [7] Terránea - <https://blog.terranea.es/partes-bicicleta/>
- [8] Bici Home - <https://bicihome.com/la-historia-de-las-bicicleta/>
- [9] Bikester - <https://www.bikester.es/info/historia-bicicleta/>
- [10] Ecoseed - <https://www.ecoseed.org/historia-bicis-electricas/>
- [11] Bicis eléctricas - http://www.bicicletaselectricas.com/tecnologia_bicicleta_electrica.htm