



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Linares

Trabajo Fin de Grado

**DISEÑO Y ANÁLISIS DE UN
CUADRO DE BICICLETA DE DOBLE
SUSPENSIÓN MEDIANTE EL
MÉTODO DE LOS ELEMENTOS
FINITOS**

Alumno: Gabriel Hernández Martín

Tutor: Luis Antonio Felipe Sese
Depto.: Ingeniería Mecánica

Septiembre, 2021

Resumen

En el presente proyecto se procede a realizar la modelización y el análisis de un cuadro de bicicleta de doble suspensión, para ello se tendrá en cuenta la normativa vigente para este tipo de cuadros, realizando así todos los ensayos pertinentes para garantizar la seguridad del mismo.

Para conseguir dicho objetivo se utilizarán los programas CAD y de simulación mediante elementos finitos, que facilitarán el estudio del cuadro y comprobarán su resistencia y seguridad. Estos ayudarán a observar si el cuadro diseñado necesita ser modificado.

Además de esto, se propondrá el estudio del mismo cuadro con dos materiales diferentes, aluminio y acero. Se comprobará cuál de estos materiales es el más propicio para la construcción de dicho cuadro.

Por último, se llegará a una conclusión de si el diseño del cuadro propuesto sería seguro y viable, además de la elección del material que sería más viable para el cuadro diseñado.

Abstract

In this project, will be performed a modeling and analysis of a full suspension bicycle frame, for this , Will be considered the current regulations for this type of frames, thus carrying out all the pertinent test to guarantee its safety.

To achieve this objective, CAD and simulation programs using finite elements will be used, which facilitate the study of the frame and verify its resistance and safety. These will help to observe if the designed frame needs to be redesigned.

Furthermore, the study of the same frame with two different materials, aluminum and steel, will be proposed. It will be verified which of these materials is the most auspicious for the construction of said frame.

Finally, a conclusion will be reached if the frame designed would be safe, also the choice of the material that would be the most viable for the designed frame.

Índice

1. Introducción.....	10
1.1. Entorno socio-económico.....	10
1.2. Motivación del proyecto.....	13
1.3. Estructura.....	15
1.4. Evolución de la bicicleta de montaña	16
1.5. Modalidades del ciclismo de montaña.....	21
1.5.1 Cross Country.....	21
1.5.2 Trail.....	23
1.5.3 Enduro.....	23
1.5.4 Descenso.....	24
1.5.5 Freeride.....	26
2. Objetivos del proyecto.....	27
2.1. Objetivo general.....	27
2.2. Objetivos particulares.....	27
3. Fundamentos.....	28
3.1. Componentes.....	28
3.1.1 Cuadro.....	28
3.1.2 Horquilla.....	29
3.1.3 Dirección.....	31
3.1.4 Manillar.....	32
3.1.5 Potencia.....	33
3.1.6 Tija.....	34
3.1.7. Sillín.....	34
3.1.8. Ruedas.....	35
3.1.9. Transmisión.....	36
3.1.10. Cajas de pedalier.....	38
3.1.11. Ejes de ruedas.....	41
3.2. Materiales.....	42
3.2.1. Acero.....	43
3.2.2. Aluminio.....	44
3.2.3. Titanio.....	46
3.2.4. Fibra de carbono.....	47
3.3 Normativa.....	49
3.3.1 Ensayo de choque (caída de una masa).....	49
3.3.2. Ensayo de choque (caída del cuadro).....	50
3.3.3 Ensayo de fatiga con fuerzas del pedaleo	52
3.3.4. Ensayo de fatiga por fuerzas horizontales.....	53
3.3.5. Ensayo de fatiga con una fuerza vertical.....	55
3.3.6. Consideraciones.....	56
3.4. Introducción a la fatiga y al impacto.....	57

3.4.1. Mecánica del impacto.....	57
3.4.2. Mecánica de la fatiga.....	59
4. Metodología.....	63
4.1. Condiciones de contorno.....	63
4.1.1 Exploración de los modelos ya existentes	63
4.1.2 Aspectos de la geometría	66
4.1.3 Modelos de referencia	75
4.2 Metodología del diseño.....	77
4.2.1 Geometría inicial.....	77
4.2.2 Tecnologías usadas.....	79
4.2.3. Diseño del cuadro principal.....	82
4.2.4. Diseño del cuadro trasero.....	85
4.2.5. Diseño de basculantes uniones, “linkers”.....	86
4.2.6. Geometría y diseño final.....	88
4.3. Metodología de cálculo.....	90
4.3.1. Cálculo ensayo de choque (caída de una masa).....	93
4.3.2 Cálculo ensayo de choque (caída del cuadro).....	97
4.3.3. Cálculo ensayo de fatiga con fuerzas de pedaleo.....	98
4.3.4. Cálculo ensayo de fatiga por fuerzas horizontales.....	101
4.3.5. Cálculo ensayo de fatiga con una fuerza vertical.....	101
5. Resultados.....	103
5.1. Resultados de la primera iteración.....	104
5.1.1. Ensayo de choque (caída de una masa) (Primera iteración).....	104
5.1.2 Ensayo de choque (caída del cuadro)(Primera iteración).....	107
5.1.3. Ensayo de fatiga con fuerzas de pedaleo (primera iteración).....	108
5.1.4. Ensayo de fatiga por fuerzas horizontales. (Primera iteración).....	109
5.1.5. Ensayo de fatiga con una fuerza vertical (Primera iteración).....	110
5.1.6. Conclusión de la primera iteración.....	112
5.2. Rediseño.....	112
5.3. Comparativa de resultados del aluminio 6061 contra el acero 4130.....	113
5.3.1. Ensayo de choque (caída de una masa) (comparativa).....	114
5.3.2. Ensayo de choque (caída del cuadro) (comparativa).....	115
5.3.3. Ensayo de fatiga con fuerzas de pedaleo (comparativa).....	116
5.3.4. Ensayo de fatiga por fuerzas horizontales. (Comparativa).....	118
5.3.5. Ensayo de fatiga con una fuerza vertical (Comparativa).....	120
6. Conclusion.....	122
6.1. Trabajos futuros.....	123
7. Referencias.....	125

Índice de figuras

Figura 1.1. Estadísticas del uso de la bicicleta en España.[1].....	10
Figura 1.2. Precio medio y unidades comercializadas en 2019 por categoría de bicicletas.[2].....	11
Figura 1.3. Evolución de las bicicletas vendidas en España entre 2014-2020 [3].....	12
Figura 1.4. Esponja antipinchazos (Bikeshop) [4].....	14
Figura 1.5. Ciclista practicando enduro.....	15
Figura 1.6. Geometría de una bici de montaña de doble suspensión. [6].....	16
Figura 1.7. Gary Fisher sobre su Schwinn [7].....	17
Figura 1.8. Schwinn Excelsior X de Gary Fisher [8].....	18
Figura 1.9. Sram Eagle 1x12 (XX1) [9].....	19
Figura 1.10. De las primeras horquillas Rock Shox que salieron al mercado [10].....	20
Figura 1.11. Cuadro de carbono de carretera [11].....	21
Figura 1.12. Campeonato del mundo de XC [12].....	22
Figura 1.13. Ciclista afrontando una senda sinuosa con su bicicleta de trail [13].....	23
Figura 1.14. Ciclista participando en el campeonato del mundo de enduro. [14].....	24
Figura 1.15. Sam Hill realizando una bajada cronometrada. [15].....	25
Figura 1.16. Bienvenido Aguado en la Redbull Rampage [16].....	26
Figura 3.1. Elementos de un cuadro de enduro.....	28
Figura 3.2. Elementos que conforman una horquilla [17].....	30
Figura 3.3. Sistema de dirección de cazoletas externas (Ahead) [18].....	31
Figura 3.4. Sistema de dirección semi-integrada. [18].....	32
Figura 3.6. Manillar Renthal [19].....	32
Figura 3.7. Potencia Ritchey [20].....	33
Figura 3.8. Tija telescópica Red [21].....	33
Figura 3.9. Sillín Fizik [22].....	34
Figura 3.10. Sistema de trinquete [23].....	35
Figura 3.11. Elementos de una rueda [24].....	35
Figura 3.12. Elementos del conjunto de transmisión [25].....	36
Figura 3.13. Eje pedalier de cuadradillo [26].....	37
Figura 3.14. Sistema de rosca Hollowtech[26].....	38
Figura 3.15. Sistema BB30 [26].....	39
Figura 3.16. Sistema Press-fit de Sram.....	40
Figura 3.17. Eje pasante tradicional [27].....	41
Figura 3.18. Ejes pasantes actuales. [27].....	42

Figura 3.19. Bicicleta hecha de Acero Chromoly [30].....	44
Figura 3.20. Cuadro de aluminio 7005 [32].....	45
Figura 3.21. Cuadro de titanio [33].....	46
Figura 3.22. Cuadro de fibra de carbono [34].....	48
Figura 3.23. Ensayo de choque (Caída de una masa) [35].....	50
Figura 3.24. Conjunto cuadro horquilla, ensayo de caída del cuadro. [35].....	51
Figura 3.25. Cuadro. Ensayo de fatiga con fuerzas del pedaleo [35].....	53
Figura 3.26. Ensayo de fatiga por fuerzas horizontales [35].....	54
Figura 3.27. Ensayo de fatiga con una fuerza vertical [35].....	55
Figura 3.28. Fuerza de impulso [37].....	58
Figura 3.29. Curva S-N del aluminio [39].....	61
Figura 3.30. Criterios de fatiga[38].....	62
Figura 4.1. Bicicleta Mondraker de enduro [40].....	63
Figura 4.2. Bicicleta Canyon de enduro [41].....	64
Figura 4.3. Bicicleta Pivot de enduro [43].....	65
Figura 4.4. Bicicleta Orbea Rallon de enduro [44].....	65
Figura 4.5. Medidas del ángulo de dirección[45].....	66
Figura 4.6. Ángulo del tubo del sillín [45].....	67
Figura 4.7. Longitud de vainas [45].....	68
Figura 4.8. Reach[45].....	69
Figura 4.9. Stack [45].....	70
Figura 4.10. Offset de la horquilla [45].....	71
Figura 4.11. Trail de la horquilla [45].....	72
Figura 4.12. Altura del eje de pedalier [45].....	73
Figura 4.13. Batalla [45].....	74
Figura 4.14. Diferentes medidas en ruedas de bicicletas de montaña [47].....	75
Figura 4.15. Scott Ramson 910 2021[48].....	76
Figura 4.16. Canyon Strive 2021 [41].....	76
Figura 4.17. Reach y Stack del diseño.....	78
Figura 4.18. Medidas de la caja pedalier.....	80
Figura 4.19. Tipo de eje pedalier a instalar.....	80
Figura 4.20. Tipo de dirección montada.....	81
Figura 4.21. Medida del tubo de la tija del sillín.....	81
Figura 4.22. Medida del eje de la rueda trasera.....	82
Figura 4.23. Unión del tubo superior	83
Figura 4.24. Geometría del tubo inferior.....	83

Figura 4.25. Tubos de unión parte inferior con tubo tija del sillín.....	84
Figura 4.26. Huecos de los rodamientos.....	85
Figura 4.27. Cuadro trasero.....	86
Figura 4.28. Unión inferior.....	87
Figura 4.29. Unión superior.....	87
Figura 4.30. Diseño finalizado.....	88
Figura 4.31. Geometría final.....	89
Figura 4.32. Curva SN del acero 4130,, de la Universidad de Waterloo [49].....	91
Figura 4.33. Curva SN del acero 4130 introducida en ANSYS [50].....	92
Figura 4.34. Curva SN para el aluminio 6061-T6 [51].....	92
Figura 4.35. Curva SN del aluminio 6061 introducida en ANSYS.....	93
Figura 4.36. Masa de ensayo de choque por caída.....	94
Figura 4.37. Montaje del ensayo de choque por caída de masa.....	95
Figura 4.38. Mallado de la ensayo de choque por caída de una masa.....	95
Figura 4.39. Mallado del ensayo de choque por caída del cuadro.....	98
Figura 4.40. Adaptador ensayo de fatiga con fuerzas de pedaleo.....	99
Figura 4.41. Criterio de fatiga por Goodman.....	100
Figura 4.42. Mallado del ensayo de fatiga por fuerzas del pedaleo.....	100
Figura 4.43. Cargas cíclicas del ensayo de fatiga por fuerzas horizontales.....	101
Figura 4.44. Mallado del ensayo de fatiga con fuerza vertical.....	102
Figura 5.1. Gráfica de tiempo de desplazamiento en “Z” ensayo de choque (caída de masa)(primera iteración).....	104
Figura 5.2. Desplazamiento en Y puntera de la horquilla ensayo de choque (caída de masa)(primera iteración).....	105
Figura 5.3. Desplazamiento en Z ensayo de choque (caída de masa)(primera iteración).....	106
Figura 5.4. Tensiones ensayo de choque (caída de masa)(primera iteración).....	106
Figura 5.5. Concentrador de tensión en la unión inferior del cuadro ensayo de choque por caída del cuadro.....	108
Figura 5.6. Concentrador de tensiones ensayo de fatiga por fuerzas del pedale.....	109
Figura 5.7. Tensiones ensayo de de fatiga por fuerzas horizontales (primera iteración).....	110
Figura 5.8. Tensiones distribuidas por el tubo del sillín ensayo de fatiga fuerza por vertical.....	111
Figura 5.9. Concentrador de tensiones en ensayo de fatiga por fuerza vertical.....	111
Figura 5.10. Rediseño del cuadro principal.....	112

Figura 5.11. Rediseño del concentrador de tensión de la unión inferior.....	113
Figura 5.12. Tensión en el acero ensayo de choque por caída de una masa comparativa.....	115
Figura 5.13. Concentrador de tensión en aluminio ensayo de choque por caída del cuadro comparativa.....	115
Figura 5.14. Tensión en el acero ensayo de choque por caída del cuadro comparativa.....	116
Figura 5.15. Tensión en el aluminio ensayo de fatiga por fuerzas del pedaleo .comparativa.....	117
Figura 5.16. Tensión en el acero ensayo de fatiga por fuerzas del pedaleo comparativa	118
Figura 5.17. Tensión en el aluminio ensayo de fatiga por fuerzas horizontales comparativa.....	119
Figura 5.18. Tensión en el acero ensayo de fatiga por fuerzas horizontales comparativa	120
Figura 5.19. Tensión en el aluminio ensayo de fatiga por fuerzas verticales comparativa.....	121
Figura 5.20. Tensión en el acero ensayo de fatiga por fuerzas verticales comparativa.....	121

Índice de tablas

Tabla 3.1. Elementos de un cuadro de enduro.....	29
Tabla 3.2. Elementos que conforman una horquilla.....	30
Tabla 3.3. Elementos de una rueda.....	36
Tabla 3.4. Elementos del conjunto de transmisión.....	37
Tabla 3.5. Alturas de caída [35].....	50
Tabla 3.6. Alturas de caída y distribución de masas, ensayo de caída del cuadro.....	51
Tabla 3.7. Fuerzas en el eje del pedal [35].....	52
Tabla 3.8. Fuerzas en las punteras de la horquilla delantera [35].....	54
Tabla 3.9. Fuerzas sobre la tija del sillín [35].....	55
Tabla 3.10. Valores de desplazamiento permanente caída de una masa [36].....	56
Tabla 3.11. Valores de desplazamiento permanente caída del cuadro [36].....	57
Tabla 3.12. Velocidad de propagación de la tensión en diferentes materiales.[52].....	59
Tabla 4.1. Medidas de los modelos de referencia [48][41][40].....	76
Tabla 4.2. Geometría inicial.....	77
Tabla 4.3. Geometría final.....	89
Tabla 4.4. Propiedades del acero 4130 y aluminio 6061[50].....	91
Tabla 5.1. Resultados del ensayo de choque (caída de una masa)(primera iteración).....	104
Tabla 5.2. Resultados ensayo de choque (caída del cuadro)(primera iteración).....	107
Tabla 5.3. Resultados ensayo fatiga con fuerzas del pedaleo.....	108
Tabla 5.4. Resultados ensayo de fatiga por fuerzas horizontales (Primera iteración).....	109
Tabla 5.5. Resultados ensayo de fatiga con fuerza vertical (primera iteración).....	110
Tabla 5.6. Resultados ensayo de choque caída de una masa, comparativa aluminio vs acero.....	114
Tabla 5.7. Resultados ensayo de choque caída del cuadro, comparativa aluminio vs acero.....	116
Tabla 5.8. Resultados ensayo fatiga con fuerzas de pedaleo, comparativa aluminio vs acero.....	117
Tabla 5.9. Resultados ensayo fatiga con fuerzas de pedaleo, comparativa aluminio vs acero.....	119
Tabla 5.10. Resultados ensayo fatiga con fuerzas de pedaleo, comparativa aluminio vs acero.....	120

1. Introducción

1.1. Entorno socio-económico

Hoy en día no cabe duda que el mercado de la bicicleta, tanto como medio de transporte como para ocio, es un mercado que está en auge.

Debido a cada vez más restricciones a los vehículos con motores de combustión en las ciudades europeas, la bicicleta se está presentando como una opción para desplazarse de forma limpia a través de los núcleos urbanos. De hecho, en algunas ciudades de Europa ya presenta una mayoría frente a los métodos de desplazamiento más tradicionales propulsados por combustibles fósiles.

Se comenzará analizando la bicicleta como medio de transporte.

Según un estudio realizado por Red de Ciudades por la Bicicleta, aproximadamente 9 millones de españoles utilizan la bicicleta semanalmente y más de 4 millones la utilizan alguna vez en los desplazamientos por trabajo o estudios.[1]

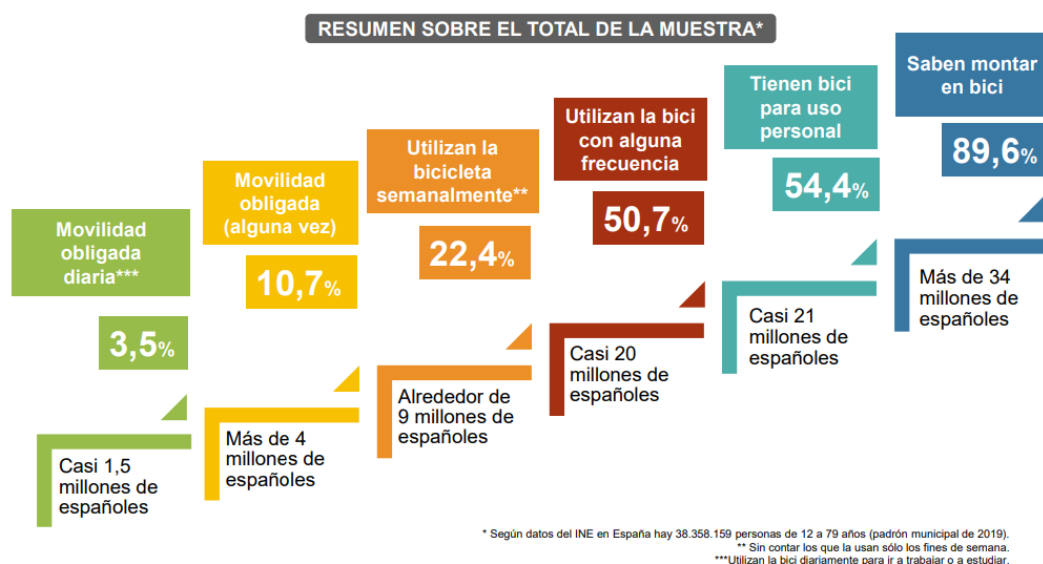


Figura 1.1. Estadísticas del uso de la bicicleta en España.[1]

Esto quiere decir que si hay 9 millones de personas utilizando la bicicleta semanalmente, esto repercutirá positivamente en el mercado de la misma ya sea en la venta de repuestos

como de nuevas bicicletas, un usuario que utilice la bicicleta semanalmente será en una de las cosas en las que invertirá, para que la bicicleta que utilice esté a punto.

Según la misma identidad, el uso de la bicicleta ha crecido más de dos puntos respecto al año 2017, y alrededor de 20 millones de españoles utilizan la bicicleta con cierta frecuencia. Sin duda, estos datos favorecen al mercado de la bicicleta, sin embargo, nuestro proyecto trata de una bicicleta de montaña más dedicada al ocio que a la propia movilidad por la ciudad. ¿Y qué ha ocurrido con el mercado de las bicicletas de montaña?, pues que sin duda alguna este mercado está en un crecimiento continuo, y ahora con el auge de las bicicletas eléctricas, personas que no pueden someterse a realizar grandes esfuerzos o que ya tienen una edad más avanzada se han sumado a la práctica de este deporte.

Según un estudio realizado en 2019 por la AMBE, Asociación de Marcas y Bicicletas de España, en nuestro país durante 2019 se elevaron a 1.261.283 las ventas de bicicletas, la más alta desde 2013, que es desde la fecha que este organismo realizó su primer informe de mercado.[1]

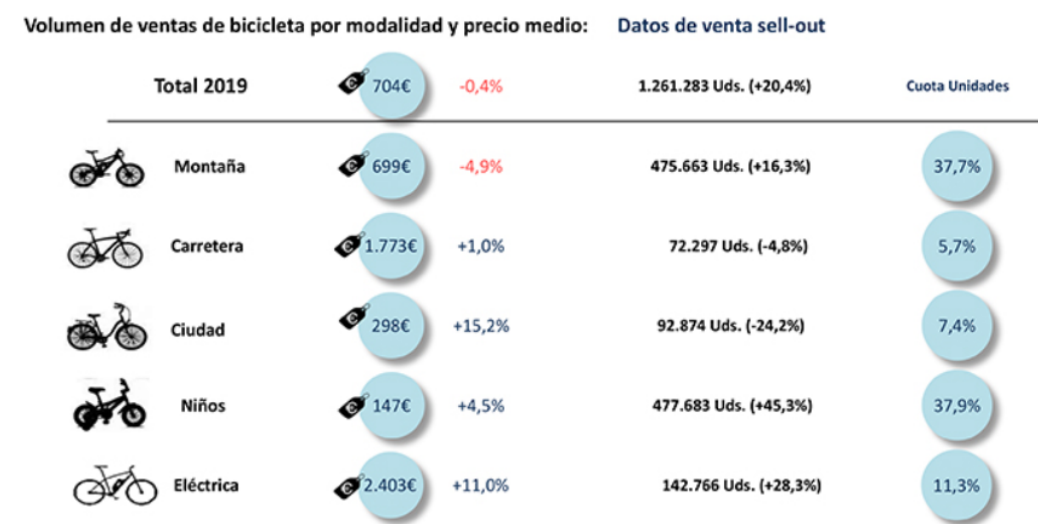


Figura 1.2. Precio medio y unidades comercializadas en 2019 por categoría de bicicletas.[2]

Sin duda las unidades más vendidas son las bicicletas de montaña, aunque hoy en día hablar de bicicletas de montaña es generalizar, ya que dentro de éstas hay muchas categorías, desde las más comunes utilizadas para uso recreativo, a las ya más avanzadas para practicar dentro de la categoría modalidades más específicas, como puede ser el cross-country, trail o de la modalidad que trata nuestro proyecto, el enduro. Dentro de estas categorías el precio medio varía bastante debido al fabricante, a los componentes o a los materiales utilizados para la fabricación del cuadro. Por esto mismo, el precio medio de las bicicletas de carretera supera a las de montaña, ya que dentro de la bici de carretera no hay prácticamente ninguna categoría. Si estas se comparan, por ejemplo, con las bicicletas de

trail o cross-country que se han vendido en 2019, posiblemente el precio medio estaría situado como el de las bicicletas de carretera, sin duda alguna.

¿Y qué hay del 2020?. Pues se podría decir que para el mercado de la bicicleta ha sido su mejor año. Según un estudio de mercado de AMBE, las ventas en este mercado crecieron un 40% respecto al año 2019, lo que quiere decir que el sector ciclista alcanzó una facturación récord de 2.607 millones de euros en 2020.[3]



Figura 1.3. Evolución de las bicicletas vendidas en España entre 2014-2020 [3]

En el año 2019 llegaron a una venta de 1.261.283 de bicicletas vendidas mientras que en 2020 1.565.233 millones de bicicletas. Algo a tener muy en cuenta es, que gran parte de este aumento de ventas se debe al incremento de bicicletas eléctricas vendidas, mientras que en 2019 las ventas fueron de 142.766 unidades, en 2020 fueron 212.635 unidades las que se vendieron lo que supone que aumentaron casi un 50%, de hecho aún más importante las bicis eléctricas se han situado en facturación como los primeros modelos superando así, por primera vez, a las bicicletas de montaña.[3]

Esto, obviamente, se reflejó en todo los otros sectores que se mueven en torno al mercado de la bicicleta, en lo que se tradujo un aumento en la venta de componentes de bicicletas, accesorios y materiales textiles.

1.2. Motivación del proyecto

Como se ha visto, el mercado de la bicicleta de montaña está en auge y cada vez son más personas las que entran en este “mundillo”, también cabe mencionar que el aumento de ciclistas que practican la modalidad de enduro se va aumentando conforme pasan los años. Esto puede ser debido a diversos factores:

Uno de ellos puede ser a la increíble mejora de los componentes que conforman la bicicleta, empezando, por ejemplo, con las suspensiones, cada vez con más recorrido y con más opciones de personalización, hace que las bajadas sean mucho más cómodas, donde el cuerpo del ciclista sufre menos debido a que las grandes irregularidades del terreno son absorbidas por estas.

Siguiendo por los componentes, se podrían mencionar las llantas y neumáticos. Las llantas, cada vez más ligeras y resistentes, permiten enfrentarse a bajadas bastante pedregosas sin llegar a romper o incluso evitando que los neumáticos lleguen a destalonar. Los neumáticos ya la mayoría “tubeless”, es decir, sin cámara, son cada vez más difíciles que acaben pinchando, además del último invento llamado esponja antipinchazos lo que permite a los ciclistas rodar en presiones muy bajas, lo que conlleva mayor agarre, sin llegar a pinchar.



Figura 1.4. Esponja antipinchazos (Bikeshop) [4]

Otro elemento que puede estar ayudando al aumento de ciclistas en esta modalidad es la disminución de peso de estas bicicletas, hace 10 años atrás una bicicleta de estas características podría pesar perfectamente unos 20 kg, sin embargo, con la llegada de la fibra de carbono y aluminios hidroformados, normalmente estas bicicletas no superan los 15 kg.



Figura 1.5. Ciclista practicando enduro.

Otro factor sin duda es la llegada de las bicicletas eléctricas, esto es debido que a muchos ciclistas que le gusta esta categoría les gusta el hecho de bajar, y para ahorrar la dificultades que supone la subida recurren a la bicicleta eléctrica, esto supone que la subida se realiza cómodamente y luego a la hora de bajada tiene casi los mismos atributos que una bicicleta de enduro.

También se debe hablar de la gran demanda que ha habido en 2021 haciendo que algunos distribuidores lleguen a plazos de entrega de hasta casi 1 año, también añadir el tiempo que las fábricas han estado cerradas debido a la reciente pandemia ha provocado un desabastecimiento general.

Debido a estas causas, el estudio de sacar una nueva marca de bicicletas o bicicletas al mercado puede ser muy plausible.

1.3. Estructura

En este apartado comentaremos brevemente los pasos a seguir a la hora de diseñar nuestra bicicleta de montaña.

- Diseño.

Para comenzar debemos saber qué geometría queremos desarrollar, es decir, en cuanto a las bicicletas de montaña de enduro existen varias geometrías marcadas por los estándares que siguen los fabricantes, nosotros debemos seleccionar una como patrón y según los estándares ya normalizados de diversas medidas que deberemos tener en cuenta a la hora de desarrollar nuestro cuadro, desarrollarlo a partir de esto.



Figura 1.6. Geometría de una bici de montaña de doble suspensión. [6]

Ya teniendo claro la geometría que vamos a seguir podemos comenzar con el diseño seleccionando los anchos de tubos, calculando las uniones del cuadro trasero con el delantero, siempre respetando los estándares marcados.

- Análisis

Una vez ya diseñada la bicicleta procederemos a realizar una simulación de los ensayos que marca la norma ISO 4210-6:2014, una vez obtengamos los resultados de nuestras simulaciones, sopesamos si es necesario un rediseño o no, en el caso que fuese necesario rediseñaremos ciertos aspectos de nuestra bicicleta y volveríamos a simularlos.

1.4. Evolución de la bicicleta de montaña.

La bicicleta como se conoce hoy en día, un vehículo de dos ruedas, con una de ellas motriz impulsada por un sistema mecánico de palanca, gracias a la fuerza de nuestras piernas, no surgió hasta el año 1885 de la idea del británico John Kemp Starley.

Sin embargo, la bicicleta de montaña tal y como la conocemos ahora no surgió hasta mucho después.

Al inicio de los años 70 comenzó la moda de utilizar las bicicletas que ya existían por caminos de tierra, al principio se bajaban pequeñas colinas pero los entusiastas que buscan emociones más fuertes comenzaron a buscar cada vez montañas y laderas más elevadas. Surgieron así varios grupos de ciclistas que practicaban esta modalidad entre ellos estaban los llamados “The Canyon Gang” (Pandilla del Cañón), estos realizaban carreras en la montaña “Tamalpais” (California), se empezaron a sustituir las bicicletas de paseo por bicis de bicicross [7]



Figura 1.7. Gary Fisher sobre su Schwinn [7]

Debido a que estas bicicletas acaban rompiéndose después de los descensos debido a los grandes impactos a los que eran sometidas por los ciclistas, estos comenzaron a realizar modificaciones a sus bicicletas, quitaron guardabarros y guardacadenas que llevaban las bicicletas de paseo, cambiaron las llantas por unas más anchas, así como los neumáticos con unos de más taqueado para que se aferraran a las pendientes, estas se podrían decir que son las primeras bicicletas de montaña de la historia. Gary Fisher un ciclista y fabricante de bicicletas agregó cambios de marchas a su bicicleta Schwinn Excelsior, lo cual le permitía realizar los trayectos hasta la montaña, subirla y bajarla.



Figura 1.8. Schwinn Excelsior X de Gary Fisher [8]

Gary Fisher junto con su compañero Tom Ritchey y Joe Breeze comenzaron a construir y vender bicicletas personalizadas de montaña a los aficionados que realizaban esta modalidad de ciclismo.

Esta fue por decirlo así la primera empresa dedicada a fabricar, y vender bicicletas de montaña, finalmente en 1993 Fisher vendió esta empresa a la marca americana de bicicletas Trek. Ritchey sin embargo se centró en la fabricación de componentes, así como tijas, potencias, manillares. Hoy en día sus componentes se siguen vendiendo y son de los componentes más pioneros del mercado. [8]

Con el paso de los años la bicicleta de montaña siguió evolucionando, se incorporan grupos de transmisión más avanzados de 21 velocidades que disponían de tres platos y siete piñones. Hasta hace unos años que las marcas empezaron a rebajar peso de sus bicicletas quitando platos y aumentando piñones, ahí llegaron de la mano del fabricante SRAM los 2x10, dos platos y 10 piñones reduciendo considerablemente el peso y estableciendo un estándar que duró pocos años debido a la llegada Eagle 1x12 también invención de la misma empresa, este consistía en un solo plato y doce piñones, lo que ahorra bastante peso ya que se puede obviar todo el sistema para que el desviador delantero hiciese su

función. Esto supuso un nuevo estándar que pronto se estableció debido a que la misma marca sacó varias gamas del Eagle pero a diferentes precios, hoy en día prácticamente todas las bicicletas de montaña que se venden montan este tipo de transmisión, ya sea de la marca SRAM o Shimano que también los fabrica.



Figura 1.9. Sram Eagle 1x12 (XX1) [9]

Otro elemento de el que se podría hablar era de la suspensiones, por los años 80 prácticamente todas las bicicletas eran totalmente rígidas y carecían de una suspensión, sin embargo a finales de los 80 ya se comenzaron a incorporar suspensiones delanteras, unos de los fabricantes más famosos como es Rock Shox, fue pionero en la fabricación de horquillas para bicicletas de montaña. Hoy día, la tecnología de este campo ha avanzado tanto que podemos incluso regular la geometría de nuestra bicicleta gracias a ellas, también se han inventado sistemas como el Brain de la mano de Specialized que según como de irregular sea el terreno y la cadencia de pedaleo que llevemos, así regula la suspensión de más dura a blanda, no obstante este sistema hoy día se va utilizando cada vez menos ya que añade peso y la mayoría de ocasiones es el ciclista el que quiere regular la suspensión según a su antojo.

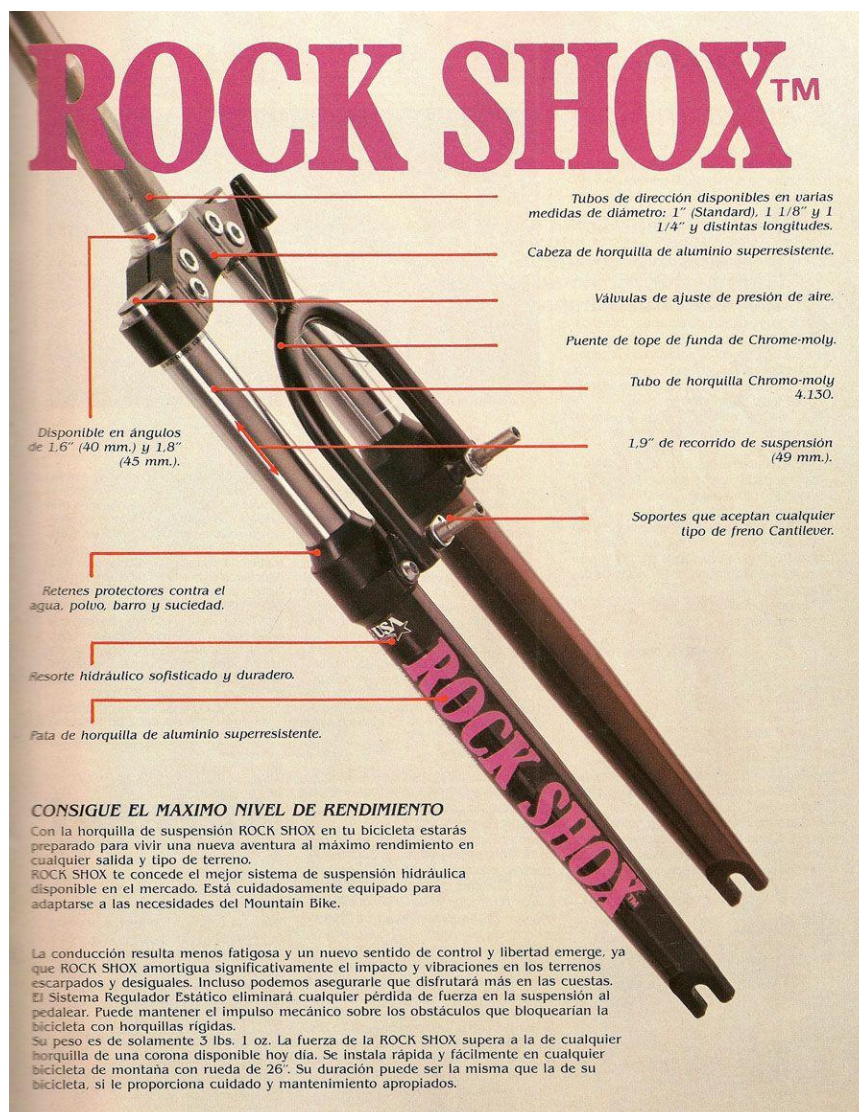


Figura 1.10. De las primeras horquillas Rock Shox que salieron al mercado [10]

Por último se podría hablar de los cuadros, al principio los cuadros de las bicicletas de montaña eran de acero, poco después ya se introdujo el acero chromoly (Steel 4130), lo que hacía que las bicicletas fueran resistentes y estuvieran menos expuestas al fenómeno de corrosión. Poco después se empezaron a fabricar cuadros de aluminio, mayormente el aluminio que se utilizaba era de la serie 6 y 7, según la metodología que se utilizase para la fabricación de dicho cuadro, esto suponía un gran avance ya que el fenómeno de la corrosión se anula casi por completo además de ser bastante más ligero que el acero. Hoy día el material que predomina por excelencia es el carbono la mayoría de marcas para sus bicicletas de gama media y alta utilizan este material ya que suponen una gran resistencia y plasticidad además de su factor más importante que es una mayor ligereza que las

anteriores aleaciones ya mencionadas. Gracias a esta innovación se han conseguido bicicletas de montaña que pesan menos de 10 kg, algo impensable hace 20 años.



Figura 1.11. Cuadro de carbono de carretera [11]

Aún así hay marcas que el aluminio lo siguen utilizando como primer material para la fabricación de cuadros una de esta marcas es Commencal, que debido a sus políticas, no fabrican con carbono y sigue predominando el aluminio en sus bicicletas de más alta gama.

1.5. Modalidades del ciclismo de montaña

Debido a los avances tecnológicos que hemos mencionado anteriormente, con el tiempo, han comenzado aparecer diferentes modalidades dentro del ciclismo de montaña, cada modalidad cuenta con su bicicleta específica para su práctica y cada una de ellas posee su propio campeonato del mundo. De una modalidad a otra las características de la bicicleta pueden verse modificadas radicalmente, con lo cual es importante que se especifiquen las modalidades existentes y la cual nos centraremos más.

1.5.1. Cross Country.

Se comenzará por lo que sería la categoría reina en el ciclismo de montaña el cross country o XC, es la modalidad más popular y común, básicamente es el propio ciclismo de montaña. Las bicicletas que se utilizan en esta modalidad suelen ser ligeras para poder afrontar

subidas escarpadas así como poco recorrido de suspensiones como mucho 100, 120mm ya que no suelen enfrentarse a descensos demasiado técnicos o saltos, pueden ser dobles o rígidas (sólo horquilla) y sus cubiertas suelen tener un ancho de entre 1,9 y 2,2 pulgadas. Dentro de esta disciplina hay dos tipos de carreras convencionales.



Figura 1.12. Campeonato del mundo de XC [12]

- Rally: Donde se realiza un circuito cerrado bastante explosivo y con bajadas técnicas aún así no suelen ser muchos kilómetros de recorrido.
- Maratón: Se realizan grandes distancias a través de pistas y senderos.

También cabe decir que esta disciplina está considerada deporte olímpico y en las olimpiadas se realizan carreras de tipo rally donde se realiza un circuito cerrado muy exigente.

1.5.2. Trail

Es de las modalidades más populares entre bicicletas de doble suspensión, esta modalidad no es competitiva y para la mayoría de ciclistas se define en explorar nuevos caminos y realizar rutas donde la bicicleta esté preparada para sortear todos los obstáculos posibles, en esta modalidad el recorrido de suspensiones aumenta siendo posible ver de hasta 160mm de recorrido en la horquilla.



Figura 1.13. Ciclista afrontando una senda sinuosa con su bicicleta de trail [13]

1.5.3. Enduro

Es la categoría en la que se centrará nuestro proyecto, aunque hay bicicletas de enduro que se pueden utilizar para trail y viceversa. Esta categoría mezcla el XC y el downhill que hablaremos a continuación, en esta modalidad se realizan subidas en la bicicleta hasta lo alto de la montaña para luego descender lo más rápido posible. Para ello se suelen utilizar horquillas desde 160 a 180mm de recorrido.

En esta modalidad también se realizan competiciones, estas consisten en lo siguiente. Se realizan varios tramos cronometrados de bajada las conexiones entre tramo y tramo también se hacen en bicicleta, pero sin ser cronometradas. Quien haga el mejor tiempo en

los tramos de bajada es el ganador, este sistema es parecido al que podríamos encontrar en un rally convencional de automóviles.

También en esta modalidad debemos destacar las bicicletas eléctricas que para muchos aficionados del enduro ha supuesto un gran avance ya que pueden ahorrar el esfuerzo de la subida para así disfrutar con plenitud la bajada.



Figura 1.14. Ciclista participando en el campeonato del mundo de enduro. [14]

1.5.4. Downhill (descenso)

Esta modalidad es la más radical del ciclismo de montaña, en esta modalidad las bicicletas no están hechas para subir grandes pendientes sino más bien pensadas en el único propósito que tienen que es descender y sortear los obstáculos que ofrezca la montaña bajando. Los que practican esta modalidad suben a la montaña mediante remontes, ya sea por furgoneta o en telecabinas, estos últimos se encuentran en los “bikemark” que básicamente son circuitos preparados para estas bicicletas. En las bajadas se pueden encontrar todo tipo de obstáculos: saltos, piedras, curvas cerradas. Las bicicletas de

descenso son más pesadas y robustas, siempre son de doble suspensión y su recorrido es mayor a 180 mm, donde normalmente son de 200mm.



Figura 1.15. Sam Hill realizando una bajada cronometrada. [15]

1.5.5. Freeride.

Esta disciplina básicamente es una variante de la anterior, esta consiste en realizar saltos y acrobacias encima de la bicicleta, las bicicletas que se utilizan en esta modalidad son prácticamente iguales a las anteriores.



Figura 1.16. Bienvenido Aguado en la Redbull Rampage [16]

2. Objetivo del proyecto

2.1. Objetivo general

El objetivo de este proyecto se basa en diseñar una bicicleta de montaña de doble suspensión según lo estándares ya pre establecidos, y cumpliendo la normativa vigente, en cuanto al diseño queremos encontrar un equilibrio entre peso y resistencia de nuestro cuadro, además compararemos diferentes materiales que hay en la industria de fabricación de cuadros de bicicletas para comprobar cuál sería el más idóneo para nuestro proyecto.

2.2. Objetivos particulares.

Para conseguir el objetivo de nuestro proyecto, se deberán alcanzar los siguientes objetivos parciales con el fin de conseguir el objetivo general.

- Realizar una revisión bibliográfica sobre las diferentes geometrías y estándares que utilizan los fabricantes, así como cómo influye la geometría en todo el diseño del cuadro.
- Conocer los diferentes materiales con los que se fabrican los cuadros de bicicleta.
- Diseñar el cuadro mediante el software CAD siguiendo los estándares que hemos considerado anteriormente.
- Conocer la normativa vigente para los diferentes ensayos que debe cumplir el cuadro para poder ser fabricado.
- Ejecutar una simulación de ensayos requeridos en el proceso de homologación mediante programas de cálculo mediante elementos finitos, recopilar los resultados obtenidos y realizar una labor de análisis para obtener una conclusión.
- Una vez realizada las últimas simulaciones (y haber rediseñado si ha sido necesario) comparar los materiales que hemos empleado, y obtener una conclusión para ver cuál sería el más idóneo para nuestro caso.

3. Fundamentos

3.1. Componentes

Ahora analizaremos más detenidamente todos los componentes que conforman una bicicleta, que tipos hay y qué características tienen, nosotros nos centraremos en los elementos que conforman la bicicleta que estudiaremos en este caso que es una bicicleta de enduro.

3.1.1. Cuadro

Es el elemento estructural más importante de nuestra bicicleta, este es el encargado de unir el resto de componentes y el de soportar el peso del ciclista además según su geometría el comportamiento de la bicicleta puede cambiar radicalmente, ya sea o para eficiencia en el pedaleo o más tracción a la hora de la bajada.

En la figura 3.1. mostraremos los principales tubos y elementos que conforman el cuadro.



Figura 3.1. Elementos de un cuadro de enduro

Nº	Elemento
1	Tubo superior
2	Tubo inferior
3	Vaina (cuadro trasero)
4	Vaina o tirante (cuadro trasero)
5	Basculante
6	Tubo de sillín
7	Tubo de dirección
8	Caja de pedalier
9	Patilla del cambio (cuadro trasero)

Tabla 3.1. Elementos de un cuadro de enduro

Como se ha indicado en la figura 3.1. y en la tabla 3.1. hay dos cuadros el delantero y el trasero, este último se une al delantero mediante rodamientos y algunas uniones atornilladas.

Algunos de los elementos mencionados pueden variar según el fabricante, por ejemplo, hay fabricantes que prescinden del basculante y alargan los tirantes para así unirlos a la suspensión y está al cuadro directamente así ahorrando peso.

3.1.2. Horquilla

Un elemento que tiene gran relevancia dentro de una bicicleta de enduro es la horquilla. Esta es la encargada de unir la rueda delantera con el cuadro además de absorber las irregularidades del terreno, para que estas no afecten demasiado al ciclista además de proporcionar tracción y hacer que la rueda esté adherida la mayor parte del tiempo al terreno impidiendo que llegue a rebotar. Estas horquillas suelen ser de dos tipos: Las que realizan la función de amortiguar mediante un muelle, o las que las realizan mediante aire.

Las que las realizan mediante un muelle tienen la ventaja de que son más económicas además de tener un mecanismo más sencillo.

Las de aire son más ligeras que estas últimas, además de más eficaces. Son mucho más versátiles, se pueden configurar ajustando la presión de aire del interior de las botellas. Las desventajas de estas es que suelen ser más caras y tienen un mantenimiento más delicado que las de muelle ya que hay que cambiar los retenes con cierta frecuencia si no, la horquilla podría llegar a perder efectividad o incluso romper.



Nº	Elemento
1	Barras
2	Reten
3	Botellas
4	Ajuste de precarga
5	Toma de aire
6	Eje pasante
7	Ajuste de rebote

Tabla 3.2. Elementos que conforman una horquilla

Estos elementos nombrados en la figura 3.2 y en la tabla 3.2 pueden variar o colocarse en distinto lugar según el fabricante.

Figura 3.2. Elementos que conforman una horquilla [17]

El recorrido de una horquilla es la distancia desde la parte superior hasta donde están los retenes, el recorrido se mide en milímetros y para nuestro caso optamos por una horquilla de 160mm, a la hora de diseñar el cuadro es fundamental saber qué horquilla se instalará ya que esta influirá en la geometría de la bicicleta entera y la distancia que habrá entre ejes.

3.1.3. Dirección

Básicamente la dirección en bicicletas consiste en una serie de rodamientos que permiten el giro del manillar y la horquilla, esta se aloja en el tubo de dirección y también hace función de unión entre el cuadro y la horquilla.

Hay diferentes tipos que mencionaremos a continuación:

- Cazoletas externas: Los rodamientos quedan por fuera y por encima del tubo de la dirección del cuadro, estos a su vez van envueltos por las cazoletas, aunque parte de estas si van embutidas en el tubo de la dirección.



Figura 3.3. Sistema de dirección de cazoletas externas (Ahead) [18]

Las medidas más habituales de esta dirección es de 1 1/8" Tapered o conificada arriba, esta consiste en que la medida de la parte de abajo es mayor a la de la parte superior del cono.

- Semi-integrada. En estas a diferencia de las anteriores los rodamientos si están embutidos en el tubo de dirección sin embargo estos no apoyan directamente sobre él sino sobre unas cazoletas que encajan a presión en dicho tubo, estas cazoletas no superan el diámetro superior del tubo de la dirección por lo que no llegan a sobresalir por arriba.

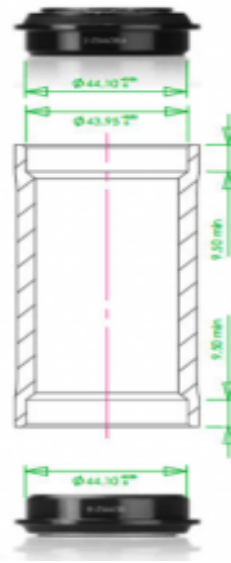


Figura 3.4. Sistema de dirección semi-integrada. [18]

- Integrada. Este sistema es parecido al anterior, su diferencia es que los rodamientos se encajan directamente en el tubo prescindiendo de cazoletas, para ello el tubo tiene unos alojamientos practicados para que estos rodamientos se asienten correctamente.

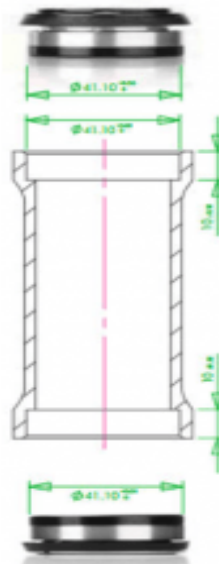


Figura 3.5. Sistema de dirección integrada [18]

3.1.4. Manillar

Es el encargado de transmitir los movimientos y giros del ciclista a la dirección y esta a su vez a la horquilla. También es un elemento donde el ciclista apoya parte de su peso, este

transmite trasmite a su vez todas las irregularidades del terreno que la suspensión no ha podido absorber al ciclista. También lo hay de diferentes longitudes y geometrías, normalmente cuanto más ancho sea más control tiene el ciclista sobre la bicicleta pero a su vez los giros serán menos directos y rápidos, cuanto menor sea su longitud los giros serán más directos, nerviosos e inestables.



Figura 3.6. Manillar Renthal [19]

3.1.5. Potencia

Este elemento es el encargado de unir el manillar con la dirección y la horquilla, hay diferentes medidas y tipos, pero normalmente en enduro se llevan potencias cortas, ya que estas equivalen a un mejor manejo de la bicicleta.



Figura 3.7. Potencia Ritchey [20]

3.1.6. Tija

Este elemento es el encargado de unir el cuadro con el sillín, este junto con el sillín regula la posición del ciclista encima de la bicicleta.

Existen diferentes tipos de tijas y de medidas, el diámetro del tubo de la tija irá acorde con el diámetro del tubo que se encuentra en el cuadro de la bicicleta.



Figura 3.8. Tija telescópica Red [21]

Hoy en día son muy utilizadas las tijas telescópicas, sobre todo en la práctica del enduro y trail, estas permiten regular la altura del sillín instantáneamente, mediante un mando que se sitúan o bien en el manillar o bien debajo del sillín, esto conlleva el beneficio de en las bajadas poder reducir la altura del sillín al mínimo haciendo que el ciclista tenga mayor libertad de movimiento encima de la bicicleta.

3.1.7. Sillín

El sillín es el componente que soporta el peso del ciclista a la hora de pedalear.



Figura 3.9. Sillin Fizik [22]

3.1.8. Ruedas

Las ruedas son el componente de la bicicleta que está en contacto con el firme y por lo tanto, serán las que transmitan todas las irregularidades al resto de la bicicleta, estas están compuestas por varios elementos que son: radios, llanta, buje y neumáticos.

También la rueda motriz, normalmente la trasera, lleva también en el propio buje un sistema de trinquetes, este sistema consiste en que un engranaje pueda girar hacia un lado, pero una uñeta bloquea el giro hacia el lado contrario. Este sistema se halla en el interior del núcleo.

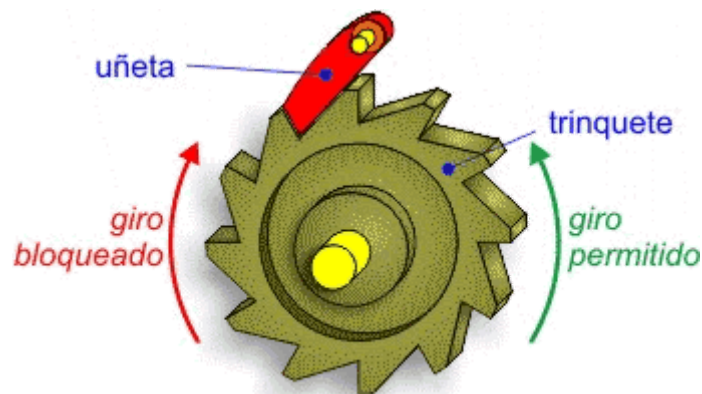


Figura 3.10. Sistema de trinquete [23]

En la figura 3.11 se mostrará las diferentes partes que componen a una rueda.

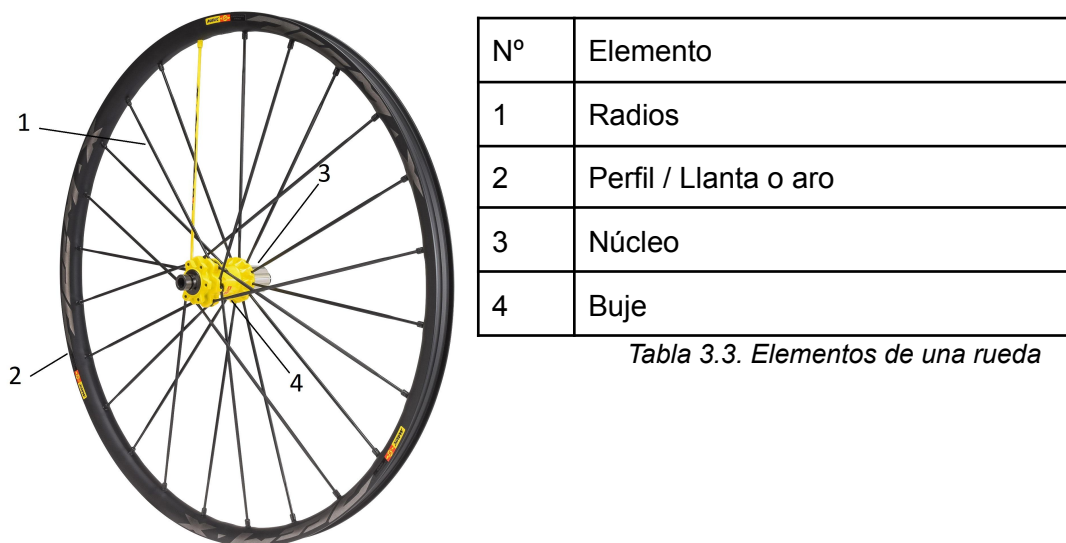


Tabla 3.3. Elementos de una rueda

Figura 3.11. Elementos de una rueda [24]

Hoy en día prácticamente dos medidas que se comercializan estas son 27,5" o 29", aun quedan bicicletas más antiguas con ruedas de 26", pero es una medida que esta desapareciendo.

Cada una de estas medidas tiene sus ventajas y desventajas. Las ruedas de 29" son más rodadoras y al tener más contacto con el suelo, tienen más agarre, además que al tener mayor diámetro absorben con más facilidad las irregularidades del terreno, por el contrario son menos ágiles y la puesta en marcha es más dura para el ciclista con unas ruedas de este calibre.

Las ruedas de 27,5" son más ágiles que estas últimas, también más ligeras ya que al tener menos diámetro obviamente suelen tener menos masa.

Sin embargo, en la actualidad las ventajas de la medida de 29" predominan sobre los inconvenientes, debido a esto la mayoría de las los modelos montan ruedas de estas dimensiones dejando las ruedas de 27,5" para modelos más concretos.

3.1.9. Transmisión

Es la encargada de transmitir la fuerza que aplica el ciclista a la rueda motriz, está la forman varios componentes que se mencionan en la tabla 3.4.

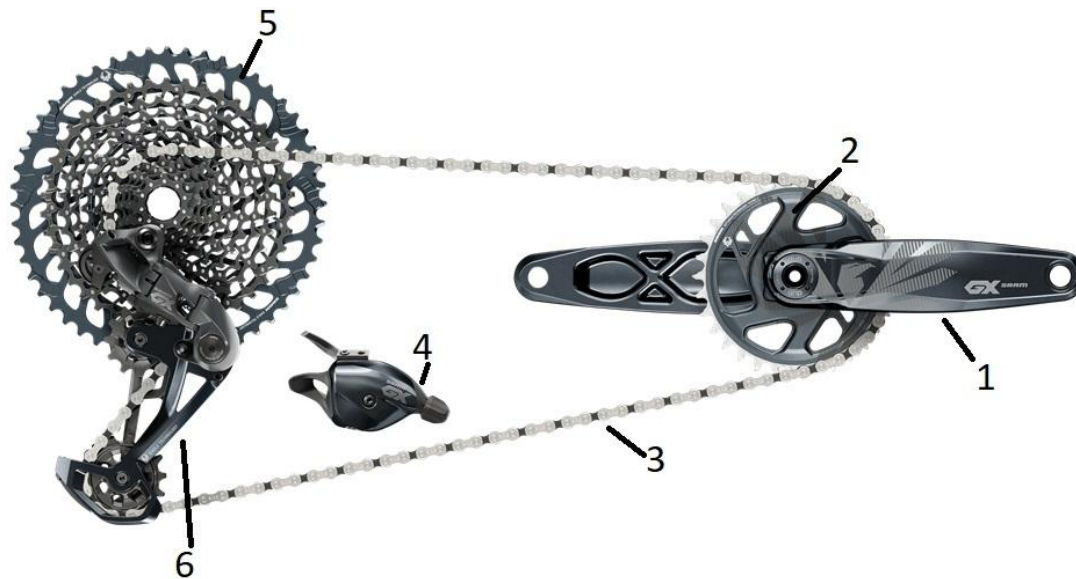


Figura 3.12. Elementos del conjunto de transmisión [25]

Nº	Elemento	Descripción
1	Bielas	Son las encargadas de transmitir la fuerza del ciclista al plato y transformar la fuerza lineal en un giro.
2	Plato	Rueda dentada que está unida a las bielas
3	Cadena	Su función consiste en transmitir el movimiento del plato a los piñones traseros
4	Palanca de cambio	Su función es transmitir la orden del ciclista al cambio trasero para cambiar la relación de transmisión
5	Piñones traseros	Ruedas dentadas unidas a la rueda trasera mediante el núcleo, reciben el movimiento del plato mediante la cadena y lo transmiten a la rueda, permitiendo así el avance de la bicicleta
6	Desviador trasero	El desviador permite modificar la relación de transmisión, subiendo o bajando la cadena por los piñones traseros. Este se encuentra unido al cuadro mediante la patilla del cambio.

Tabla 3.4. Elementos del conjunto de transmisión

Cabe mencionar que la patilla del cambio actúa como fusible, cuando se provocan grandes tensiones debido al pedaleo, la patilla del cambio está hecha de un material más débil que el propio cuadro de la bicicleta para que así llegue a romper antes que el propio cuadro.

Como mencionamos en apartados anteriores hay diferentes tipos de transmisiones en este apartado hemos mencionado la más común y extendida en la actualidad, aunque hay algunas que poseen varios platos y por ende un desviador delantero para modificar la relación entre ellos.

3.1.10. Cajas de pedalier

La caja pedalier es un elemento que forma parte de la transmisión de la bicicleta, este elemento permite el movimiento rotacional de las bielas, además de soportar la potencia de pedaleo que ejerce el ciclista.

Influirá en la rigidez de nuestra bicicleta el sistema que lleve montado la bicicleta, además de poder aligerar peso.

Hay diferentes tipos de pedalier que se mencionan a continuación

- Eje de cuadradillo

Es una tecnología que ya prácticamente está en desuso, existen dos tipos de rodamientos sellados y no, el más fiable de estos dos es el de rodamientos sellados, este se compone de una pieza no desmontable, es decir no se pueden desmontar los rodamientos del eje, las puntas de los ejes terminan en forma de cuadrado,, donde se alojan las bielas.[26]



Figura 3.13. Eje pedalier de cuadradillo [26]

- Ejes roscados

Después del sistema del eje de cuadrado fueron varios sistemas que aparecieron para arrebatarse el puesto, sin embargo ninguno llegó a perdurar mucho tiempo ni a ser un sistema muy fiable, hasta que apareció el sistema Hollowtech de mano del fabricante Shimano. Con este sistema consiguieron aumentar el tamaño de los rodamientos además de conseguir más distancia entre ellos ya que estos se colocaban en el exterior, cabe destacar que el eje estaba unido a las bielas por la parte donde se encuentra los platos, todos estos factores conlleva un aumento de rigidez además de una reducción de peso.[26]



Figura 3.14. Sistema de rosca Hollowtech[26]

- Sistema BB30

Es un sistema que se extendió rápidamente debido a su gran reducción de peso, este sistema consiste en dos rodamientos que se introducían en el cuadro y se encajan a presión, por el interior, su movimiento se veía limitado por un circlip, por el exterior de los rodamientos hay un guardapolvos para proteger a estos de los elementos externos. Hay otros tipos de sistemas como el BB90 del fabricante Trek, que consiste básicamente en lo mismo solo que con diferentes medidas.

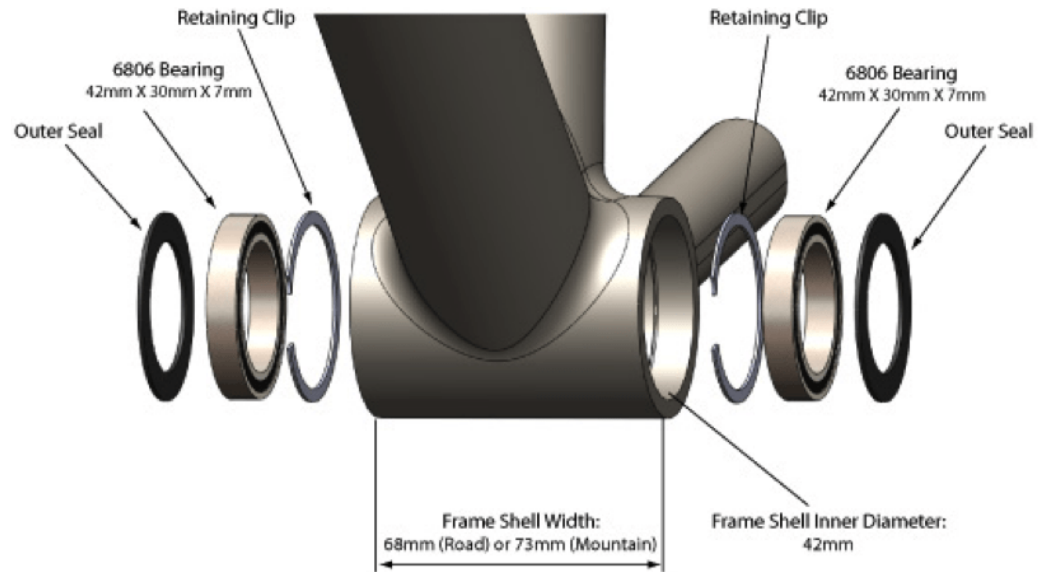


Figura 3.15. Sistema BB30 [26]

- Press-fit

Es uno de los sistemas más utilizados hoy en día, en este sistema los rodamientos sujetan el eje pedalier, en el sistema DUB del fabricante Sram estos rodamientos están alojados en cazoletas de nylon lo que ofrece una gran durabilidad, además de una gran ligereza y rigidez.



Figura 3.16. Sistema Press-fit de Sram

3.1.11. Ejes de ruedas

En este apartado cabe poco mencionar ya que los ejes de ruedas puede ser el elemento que menos cambios ha sufrido dentro del mundo de la bicicleta, a continuación se mencionara su evolución.

- Eje pasante tradicional.

Es el eje que más tiempo ha estado en el mercado, este eje era una varilla metálica de unos 9 mm de diámetro, normalmente las bicicletas que lo montaba la horquilla tenía una hendidura por debajo por donde podía introducir la rueda sin desenroscar el eje completamente. Todo conllevaba una falta de rigidez además de seguridad ya que por falta de presión podía escaparse la rueda de su alojamiento, por lo tanto es normal que ya este prácticamente en desuso.



Figura 3.17. Eje pasante tradicional [27]

- Ejes pasantes actuales

La llegada de las ruedas de 29" hacía que los ejes tradicionales se quedan obsoletos, se necesitaba una mayor rigidez además de seguridad, estos ejes aumentaron su diámetro a 12 mm y eran enroscados en las punteras de los cuadros o en la horquilla delantera, con lo cual ya es prácticamente imposible que la rueda de la bicicleta se escapase. Estos ejes hoy en día han seguido evolucionando a los sistemas boost y superboost, básicamente este sistema es más aplicado al buje, lo único que influye a estos ejes es que son más largos y algunos de mayor diámetro como mucho de 15 mm



Figura 3.18. Ejes pasantes actuales. [27]

3.2. Materiales

En este apartado de los materiales más utilizados en la fabricación de los cuadros de bicicleta.

A lo largo de los años los materiales que han ido predominando en los cuadros de las bicicletas han ido variando debido al avance de las tecnologías en dichos materiales.

También los materiales pueden variar según la modalidad que se practique ya que, por ejemplo, las bicicletas de carretera suelen estar fabricadas de compuestos de fibra de carbono, mientras que, en las bicicletas de montaña, aparte de este material, se siguen utilizando aluminio y con menor frecuencia el acero.

3.2.1. Acero

El acero es una aleación compuesta de hierro y carbono, este último teniendo una masa total en su composición desde el 0,08% al 2%. Además, a este se le agregan otros compuestos para alterar sus propiedades, como resistencia, tenacidad, resistencia a la corrosión. En concreto en ciclismo se utiliza el cromo y el molibdeno, esto mezcla de elementos da el resultado de la famosa aleación llamada Chromoly, que son aceros al cromo-molibdeno. Para identificar el tipo de aleaciones que se utiliza en la industria existe la denominación de American Iron and Steel Institute (AISI). Esta denominación consiste en un número de 4 dígitos donde los dos primeros indican el principal aleante del acero y su porcentaje y los últimos la cantidad de carbono que contiene la aleación.

Explicado esto último la aleación de cromo-molibdeno más extendida en el mundo del ciclismo es el Acero 41xx en concreto el AISI 4130. Esta aleación aumenta su resistencia a la tracción, así como su dureza y su rigidez. El Molibdeno aumenta los efectos que tiene el Cromo en la aleación y también mejora considerablemente la corrosión debido a los agentes atmosféricos.

Otra de las ventajas de fabricar cuadros de bicicleta con acero es su precio reducido, ya que es fácil obtener tubos de acero a bajo precio. También se podría hablar de la facilidad que tiene este tipo de acero a la hora de ser soldado lo que facilita el proceso de producción así como las reparaciones que sean necesarias en caso de rotura. [27]



Figura 3.19. Bicicleta hecha de Acero Chromoly [30]

Aun así, actualmente este material en la industria del ciclismo ha llegado a estar poco empleado, esto es debido a la aparición del carbono y otros materiales, y la lucha en el mercado por hacer una bici realmente ligera. Sin duda el peso es el principal motivo por el que se han dejado de fabricar la mayoría de cuadros en acero, sin embargo algunas bicicletas sobre todo las dedicadas al cicloturismo, sus cuadros están hechos de este acero, ya que su resistencia a la fatiga y la absorción de vibraciones supera a la de otros materiales, además en esta modalidad el factor peso es secundario, ya que en el cicloturismo donde se puede ahorrar peso total es en el equipaje que se lleve.

3.2.2. Aluminio

El aluminio es el material más utilizado actualmente en el sector de la industria de la bicicleta, se utiliza tanto para la fabricación de cuadros como diversos componentes, como pueden ser potencias, manillares, tijas e incluso ruedas.

El aluminio posee peores propiedades que el acero en cuanto a resistencia mecánica, su resistencia a fatiga y la rotura son inferiores. Sin embargo su densidad es bastante más baja que la de su rival por lo que puede ofrecer cuadros mucho más ligeros, por otro lado cabe

destacar que el aluminio posee una mejor maleabilidad que el acero por lo que es un material más fácil de manejar a la hora de la fabricación de cuadros. Cabe mencionar la resistencia a la corrosión que posee frente a agentes atmosféricos, lo que suma otra ventaja frente al acero.

Otra de las ventajas del aluminio es el coste de fabricación más barato que la fibra de carbono.

Como desventajas entre los materiales que estudiaremos es el más propenso a experimentar el fenómeno de fatiga, esto es debido a que los materiales no ferreos no tienen un límite a fatiga como tal, es decir, si se sigue aumentando el número de ciclos la curva S-N sigue decreciendo, además también es un material más complicado de reparar que el acero.

El aluminio como tal es un material demasiado blando para la fabricación de cuadros y otros componentes que conforman nuestra bicicleta, por eso debe alearse con otros metales.

Las series de aluminio que más se utilizan para la elaboración de cuadros son la serie 6 y la serie 7. [27][28][31]



Figura 3.20. Cuadro de aluminio 7005 [32]

Existen varias pero las más conocidas son el aluminio 6061 que contiene magnesio y silicio, estos se conforman fácilmente y tienen buenas propiedades mecánicas. De la serie 7

existe el 7005 que es de los más utilizados y es más fácil de tratar y fabricar ya que permite ser soldado.

Actualmente las marcas utilizan los cuadros de aluminio para las gamas medias y bajas de su gama de bicicletas, ya que en términos de presupuesto y calidad pueden ser la mejor opción. [31]

3.2.3. Titanio

El titanio es un material que se utiliza en este sector debido a su baja densidad y sus buenas propiedades mecánicas, esto permite a los fabricantes elaborar cuadros resistentes a la vez que ligeros.

Sin embargo, este presenta dos grandes inconvenientes.

El primero es su alto coste, el titanio no es un material que abunda en la naturaleza por lo que es más complicado de obtener.

El segundo inconveniente es la dificultad que implica fabricar un cuadro con este material de una manera óptima. El titanio no reacciona con el oxígeno por lo que soldar los tubos del cuadro resulta impracticable, por ello se hace en cámaras llenas de argón, lo que provoca un coste añadido a parte del alto coste que conlleva conseguir el propio material.



Figura 3.21. Cuadro de titanio [33]

Es por eso que muchas marcas renuncian a tener gamas de cuadros elaborados de titanio, ya que sus precios eran desorbitados y el público que podría optar a esas bicis era más selecto. [28]

3.2.4. Fibra de carbono

La fibra de carbono es un material formado por fibras de micras de diámetro, compuestas principalmente por átomos de carbono. Esta tiene propiedades mecánicas similares a la del acero pero con una menor densidad lo que significa una disminución considerable en el peso.

Es un material más caro que los anteriormente mencionados como el aluminio o el acero, pero tiene el beneficio que se adapta a cualquier tipo de geometría por lo que los fabricantes, tienen más margen a la hora de hacer diseños sinuosos y atractivos

Su ventaja principal como se ha mencionado antes es su relación entre el peso y las propiedades mecánicas que nos ofrecen.

Además también tiene la ventaja ante el acero del problema de la corrosión, incluso la durabilidad es mayor.

Sin embargo el carbono tiene un contra y es que es un material frágil, es decir, en un cuadro de aluminio o de acero un impacto o golpe fuerte que pudiese provocar una piedra por ejemplo, este se convertiría en una abolladura, no obstante en el cuadro de carbono produciría una fractura y por ende posiblemente desprendimiento del material, lo que podría provocar la rotura completa del cuadro. Otro contra es que la fibra de carbono es prácticamente irreparable.



Figura 3.22. Cuadro de fibra de carbono [34]

Otra desventaja es el precio, las marcas emplean diferentes sistemas para elaborar el cuadro una de la más típicas es hacer el cuadro monocasco, esto consiste en un molde donde el carbono es introducido para elaborar el cuadro principal de una sola pieza. Claro está estos moldes son caros de ahí que el precio de fabricación de estos cuadros aumente considerablemente

Pero no cabe duda que las ventajas superan a las desventajas ya que la mayoría de fabricantes ya ofrecen incluso en gamas medias, cuadros de carbono a un precio asequible.

3.3. Normativa.

En este apartado vamos a mencionar la normativa que se va aplicar a la hora del ensayo de nuestro cuadro.

La normativa ISO (Organización Internacional de Normalización) vigente en estos casos es la ISO 4210. Requisitos de seguridad para las bicicletas.

En nuestro proyecto en concreto hablaremos de dos de ellas:

- ISO 4210-2: Requisitos para bicicletas de paseo, para adultos jóvenes, de montaña y de carreras.
- ISO 4210-6: Métodos de ensayo del cuadro y la horquilla.

En esta última están definidos los ensayos que debemos realizar para cumplir los requisitos de seguridad estipulados.

A continuación, se va hablar de estos métodos de ensayo que en nuestro proyecto se realizaran mediante un software de simulación mecánica mediante elementos finitos, Ansys.

NOTA: Antes de comenzar se debe aclarar que estos ensayos están preparados y recreados para ser ensayados en un laboratorio mediante las herramientas adecuadas y el cuadro en cuestión, con lo cual ciertos aspectos de estos ensayos será difícil recrearlos mediante una simulación en un programa de elementos finitos.

Dicho esto se resumirá los ensayos de dicha normativa, y se mencionara si se ha modificado algún aspecto para adaptarlo al modelo virtual.

3.3.1. Ensayo de choque (caída de una masa)

En este ensayo lo que pretende la normativa es simular cuando, la rueda de la bicicleta recibe un impacto frontal, este impacto puede ser debido a diversas situaciones ya sea por el hecho de bajar un escalón demasiado elevado o una piedra de grandes dimensiones que se encuentre en la trayectoria de la bicicleta.

En este ensayo la horquilla debe estar provista de un rodillo delantero con las dimensiones indicadas en la figura 3.23.

Se coloca un percutor de una masa de 22,5 kg colocado justo encima del rodillo delantero y se levanta a una altura “h” estipulada en la tabla 3.5, se deja caer encima de la horquilla.

Medidas en milímetros

Tipo de bicicleta	Bicicletas de paseo	Bicicletas para adultos jóvenes	Bicicletas de montaña	Bicicletas de carreras
Altura de caída, h_1	180	180	360	212

Tabla 3.5. Alturas de caída [35]

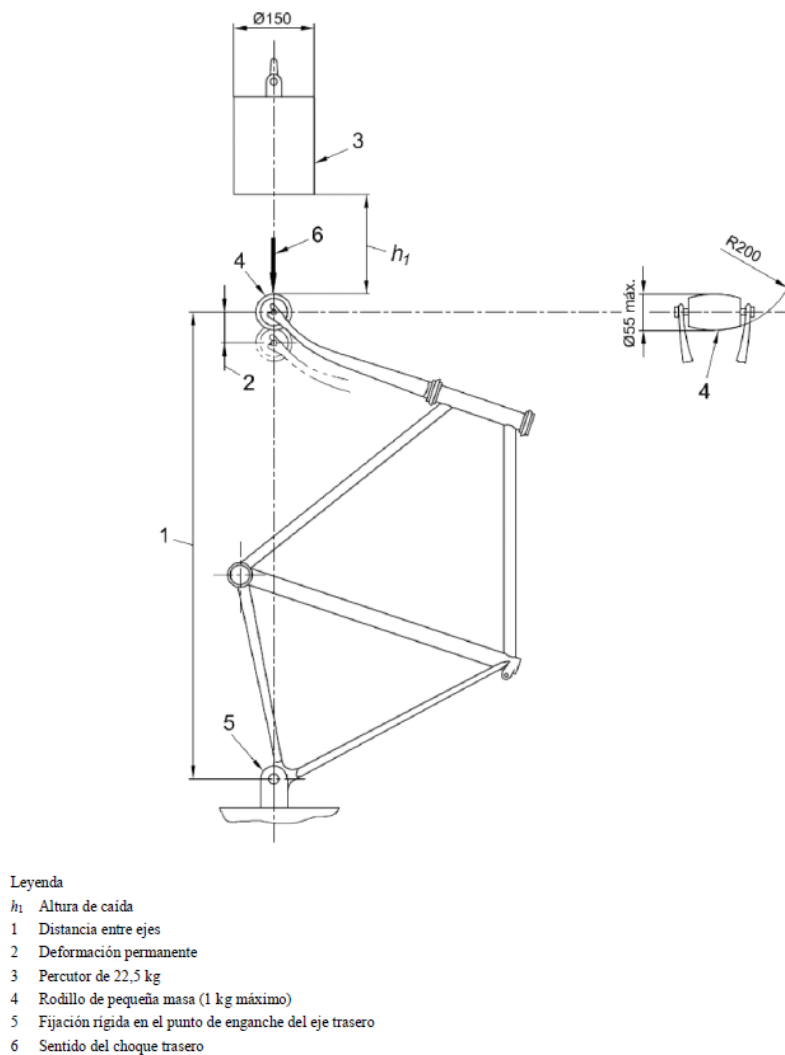


Figura 3.23. Ensayo de choque (Caída de una masa) [35]

3.3.2. Ensayo de choque (caída del cuadro)

La normativa aquí pretende simular la caída del cuadro, sobre el firme, ya sea provocado por un salto, una caída, o simplemente un impacto en dirección vertical respecto al cuadro.

En este ensayo se cargará al cuadro con distintas masas que se repartirán por todo el cuadro todo esto estipulado en la tabla 3.6 y colocadas en la forma que aparece en la figura 3.24.

Se elevará el cuadro a una altura “h” tabla 3.6 y se dejará caer sobre una superficie plana y no deformable.

Tipo de bicicleta	Bicicletas de paseo	Bicicletas para adultos jóvenes	Bicicletas de montaña	Bicicletas de carreras
Masa 1 Tija, M_1 kg	50	40	30	30
Masa 2 parte superior del tubo de eje de horquilla, M_2 kg	10	10	10	10
Masa 3 caja del pedalier, M_3 kg	30	20	50	50
Altura de caída, h_2 mm	200	200	300	200

Medidas en milímetros

Tabla 3.6. Alturas de caída y distribución de masas, ensayo de caída del cuadro. [35]

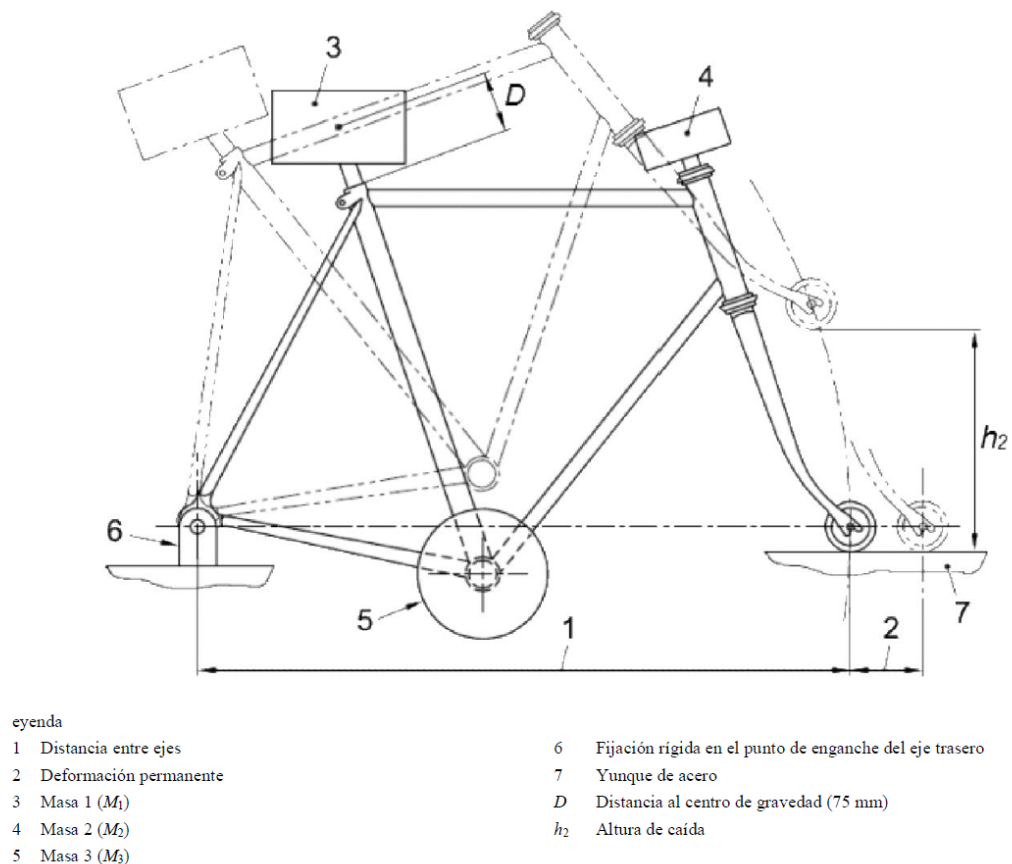


Figura 3.24. Conjunto cuadro horquilla, ensayo de caída del cuadro. [35]

3.3.3. Ensayo de fatiga con fuerzas del pedaleo

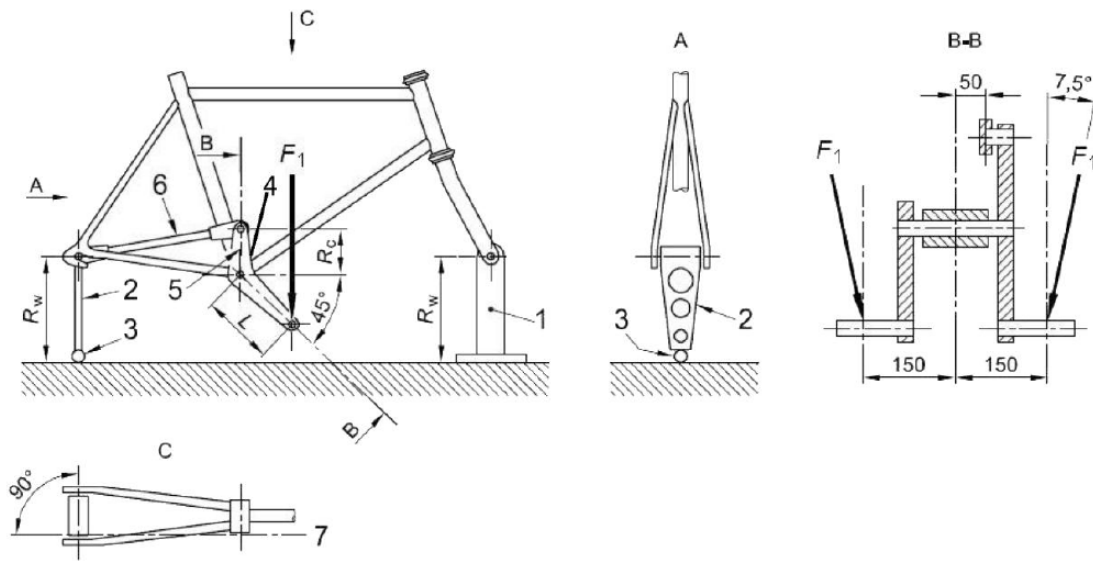
Lo que se pretende simular con este ensayo son las fuerzas de fatiga que estará sometido el cuadro mientras el ciclista esté pedaleando.

En este ensayo la normativa comunica que hay que montar el conjunto cuadro horquilla además de los elementos que componen la transmisión, esto en el ensayo de laboratorio, tiene sentido, dado que la cadena hará que la parte trasera experimente una tensión, sin embargo, esto a la hora de extrapolar de manera virtual las fuerzas que se transmiten son mínimas con lo cual, obviamos, la introducción de estos elementos y nos centraremos en la aplicación de las cargas.

Esta norma comunica que hay que aplicar unas cargas a los ejes del pedal, en nuestro caso realizaremos mediante CATIA el adaptador que podemos ver en la figura 3.25. Para después aplicarle las cargas F estipuladas en la tabla 3.7.

Fuerzas en newtons				
Tipo de bicicleta	Bicicletas de paseo	Bicicletas para adultos jóvenes	Bicicletas de montaña	Bicicletas de carreras
Fuerza, F_1	1 000	1 000	1 200	1 100

Tabla 3.7. Fuerzas en el eje del pedal [35]



Leyenda

- R_w Altura del dispositivo de fijación rígida y unión vertical
- R_{CL} Longitud del brazo vertical (75 mm)
- L Longitud de la biela (175 mm)
- 1 Montaje rígido
- 2 Unión vertical
- 3 Rótula
- 4 Montaje adaptador
- 5 Brazo vertical
- 6 Tirante
- 7 Eje del tirante

Figura 3.25. Cuadro. Ensayo de fatiga con fuerzas del pedaleo [35]

Según lo estudiado en apartados anteriores podemos obtener la carga media y alternante de nuestro ensayo que vendrá dada por:

$$F_m = \frac{1000 + 0}{2} = 500 \text{ N}$$

$$F_a = \left| \frac{1000 - 0}{2} \right| = 500 \text{ N}$$

3.3.4. Ensayo de fatiga por fuerzas horizontales

En este ensayo se simula las fuerzas que experimentará el cuadro cuando transcurra por un camino pedregoso, donde el piso será irregular y encontrará frecuentemente fuerzas de vaivén en la horquilla.

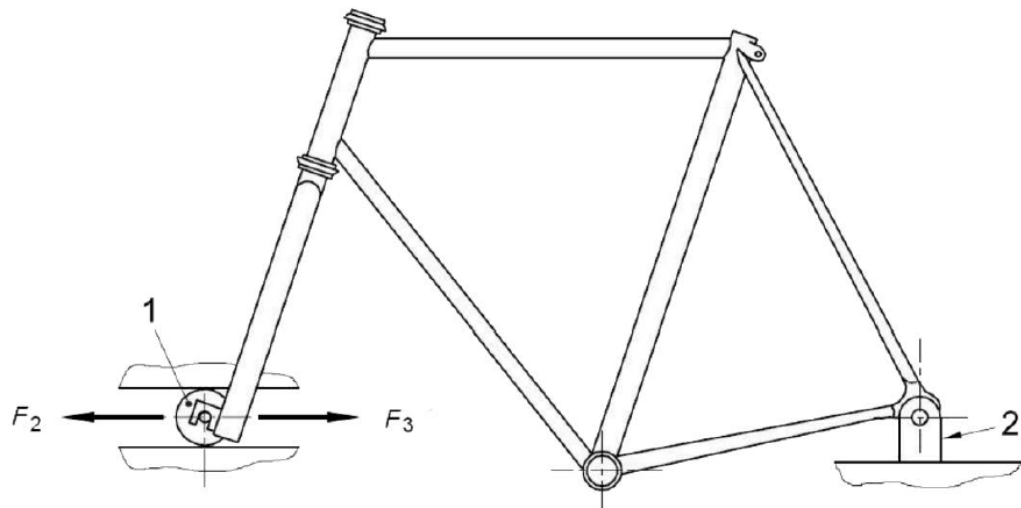
En este ensayo se coloca el cuadro de posición horizontal y se somete a una carga cíclica en la horquilla delantera, estas cargas varían entre F_3 y F_2 siendo estas de distinto sentido.

La normativa nos exige un número mínimo de 100.000 ciclos, aún así nosotros lo ensayaremos a vida infinita, y hallaremos el número de ciclos que puede soportar nuestro cuadro ya que será una información más útil a la hora de comparar los materiales que ensayemos.

El rodillo que se muestra en la figura xx en nuestro caso se suprimirá, es decir, no habrá ningún rodillo que gire si no solo las cargas actuando en la horquilla.

Tipo de bicicleta	Bicicletas de paseo	Bicicletas para adultos jóvenes	Bicicletas de montaña	Bicicletas de carreras
Fuerza hacia delante, F_2 N	450	450	1 200	600
Fuerza hacia detrás, F_3 N	450	450	600	600

Tabla 3.8. Fuerzas en las punteras de la horquilla delantera [35]



Leyenda

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

Figura 3.26. Ensayo de fatiga por fuerzas horizontales [35]

Al igual que el apartado anterior podemos hallar las cargas media y alternante de este ensayo.

$$F_m = \frac{1200 + (-600)}{2} = 300 \text{ N}$$

$$F_a = \left| \frac{1200 - (-600)}{2} \right| = 900 \text{ N}$$

3.3.5. Ensayo de fatiga con una fuerza vertical

Por último en este ensayo se pretende simular las fuerzas que soportará el cuadro cuando el ciclista se encuentre sentado en el sillín.

En este último ensayo se introducirá en el tubo del sillín un adaptador simulando un sillín. Este adaptador debe ser introducido unos 75 mm dentro del tubo del sillín además desde el tubo hasta la altura donde se aplicará la carga debe haber 250 mm. La carga debe estar distanciada unos 70 mm del centro de lo que sería la tija de nuestro adaptador.

Como en el caso anterior las norma nos comunica que sometamos este adaptador a una carga F , estipulada en la tabla 3.9, y unos 50.000 ciclos, tal como se ha dicho en el apartado anterior nosotros lo someteremos a vida infinita, para ver cuál sería el número ciclos que soportaría nuestro cuadro.

Fuerzas en newtons				
Tipo de bicicleta	Bicicletas de paseo	Bicicletas para adultos jóvenes	Bicicletas de montaña	Bicicletas de carreras
Fuerza, F_4	1 000	500	1 200	1 200

Tabla 3.9. Fuerzas sobre la tija del sillín [35]

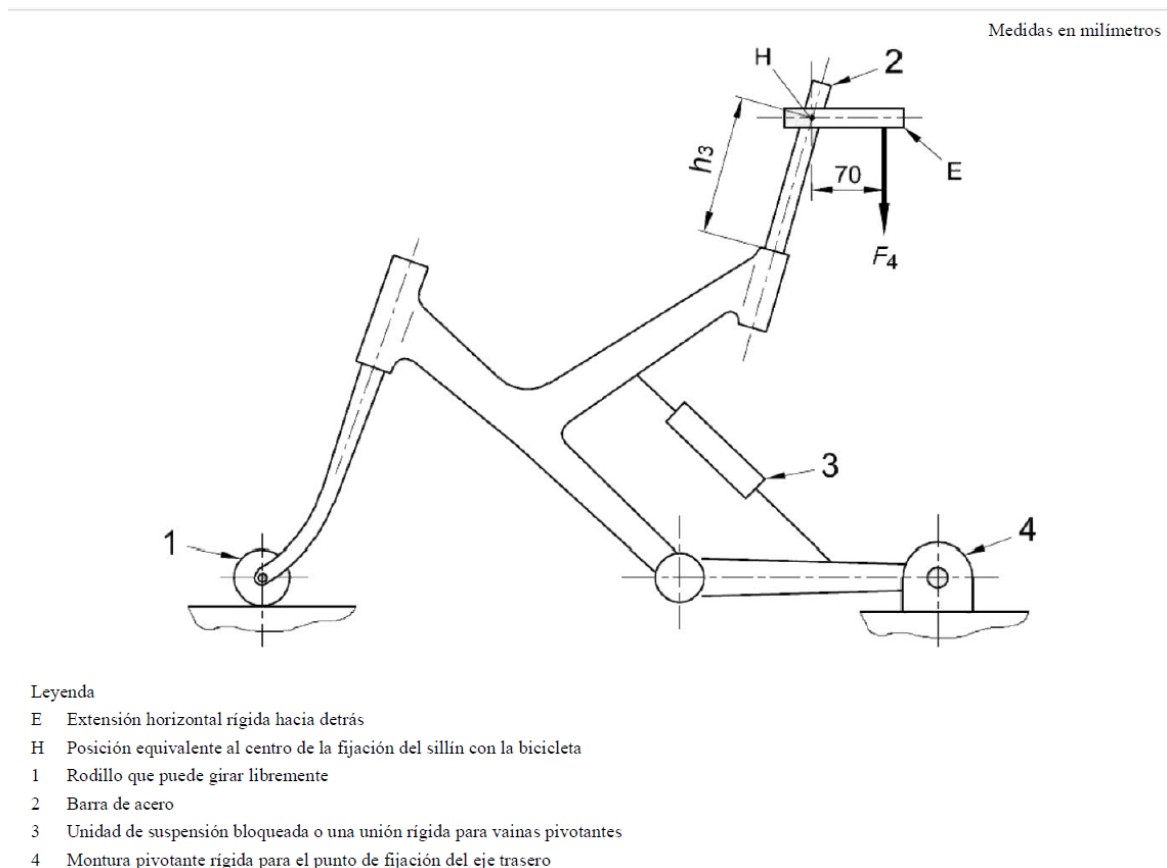


Figura 3.27. Ensayo de fatiga con una fuerza vertical [35]

Hallando la carga media y alternante de este ensayo obtenemos:

$$F_m = \frac{1200 + 0}{2} = 600 \text{ N}$$

$$F_a = \left| \frac{1200 - 0}{2} \right| = 600 \text{ N}$$

3.3.6. Consideraciones

A la hora de realizar los ensayos la normativa estipula una serie de generalidades que comentaremos a continuación.

Una de las más importantes es que los ensayos se realizan con la suspensión bloqueada, en nuestro caso sustituiremos la suspensión por una barra metálica, ya que la suspensión no nos va a aportar ningún dato relevante.

La horquilla delantera debe tener la máxima longitud de las horquillas que se le puedan montar al cuadro, en nuestro caso hemos realizado una horquilla a medida de la longitud adecuada y rígida como nos especifica la norma.

Por último, la norma ISO 4210-2 menciona los requisitos que deben cumplir estos ensayos para que la bicicleta sea segura.

Básicamente para todos los ensayos nos comunica que no se deben producir grietas ni fisuras en el cuadro, además para los ensayos de choque la normativa nos proporciona unas tablas, que nos indica que desplazamiento máxima permanente puede tener el cuadro después de haber sido ensayado, este desplazamiento se mide entre ejes de rueda, es decir lo que sería la batalla de la bicicleta. [36]

Medidas en milímetros

Tipo de bicicleta	Bicicletas de paseo	Bicicletas para jóvenes adultos	Bicicletas de montaña	Bicicletas de carreras
Deformación permanente	10	10	10	15

Tabla 3.10. Valores de desplazamiento permanente caída de una masa [36]

Medidas en milímetros

Tipo de bicicleta	Bicicletas de paseo	Bicicletas para jóvenes adultos	Bicicletas de montaña	Bicicletas de carreras
Deformación permanente	60	60	60	15

Tabla 3.11. Valores de desplazamiento permanente caída del cuadro [36]

3.4. Introducción a la fatiga y al impacto.

Antes de comenzar hablar de la normativa y de los ensayos que se van a realizar es conveniente, hacer una breve introducción a los esfuerzos que se van a estudiar en dichos ensayos.

Es conveniente mencionarlos ahora para más tarde entender los ensayos que se están realizando y el objetivo que se persigue con estos.

3.4.1. Mecánica del impacto.

Un impacto es un contacto entre dos objetos durante un breve periodo de tiempo, estos objetos o al menos uno de ellos tiene que tener una aceleración o una velocidad para que impacte contra el otro. Esto ocurre un breve periodo de tiempo luego existen unas fuerzas de repulsión, es decir después del impacto dependiendo de la elasticidad del material golpeado, los cuerpos se repelen más o menos. A este fenómeno se le llama grado de inelasticidad de un choque que vendrá determinado por el coeficiente de restitución que se puede obtener mediante la siguiente ecuación.

$$e = - \frac{v_2' - v_1'}{v_2 - v_1}$$

Cuando un choque es totalmente inelástico “e=0” y “e=1” cuando ocurre lo contrario, es decir, es totalmente elástico.

Cuando un choque es totalmente inelástico las fuerzas internas de los objetos involucrados en el choque realizan trabajo, en otras palabras los objetos se

deforman en el impacto absorbiendo una cantidad de energía, cuando este impacto es totalmente inelástico los cuerpos permanecen pegados teniendo la misma velocidad.

Con un choque totalmente elástico ocurre lo contrario las fuerzas internas de los objetos no realizan trabajo por lo que estos objetos al golpearse se repelen el uno al otro de donde sale una fuerza de impulso. [37]

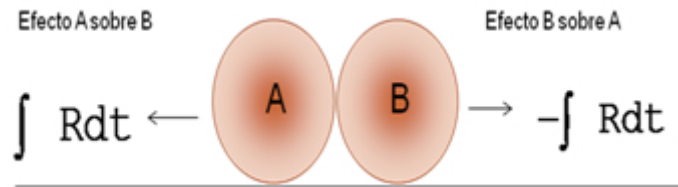


Figura 3.28. Fuerza de impulso [37]

La fuerza que experimenta un impacto viene definida por varios factores esenciales, la masa de los objetos, la velocidad que llevan los objetos justo antes del impacto y el periodo de tiempo en el que ocurre el impacto. Esto se resume en la siguiente ecuación [37]

$$\int_1^2 F dt = \int_1^2 m dv$$

Si la fuerza que hace un objeto sobre el otro es la misma fuerza esto se resumirá.

$$0 = m_a \cdot (v_a)_2 + m_b \cdot (v_b)_2 - m_a \cdot (v_a)_1 - m_b \cdot (v_b)_1$$

$$m_a \cdot (v_a)_2 + m_b \cdot (v_b)_2 = m_a \cdot (v_a)_1 + m_b \cdot (v_b)_1$$

Sin embargo, estos conceptos son muy básicos comparado con los ensayos que vamos a simular que se expondrán en el apartado 4.3. ya que ahí entran diversos factores que hay que tener en cuenta.

Uno de los factores que hay que tener en cuenta es la inercia de los objetos que entran en la acción en el impacto.

Otro factor que si se tiene algo en cuenta en los conceptos mencionados es la deformación que se produce cuando los objetos involucrados impactan, a medida que se deforman la fuerza variará.

Y otro concepto que se empezará a mencionar más en profundidad en el apartado 4.3 es la velocidad de propagación de las tensiones.

Cuando un objeto impacta contra el otro inmediatamente no se propagan todas las tensiones por todo cuadro, si no que tiene una velocidad, esto bien es cierto que ocurre en milésimas de segundo y es prácticamente inapreciable, pero a la hora de ajustar las simulaciones es esencial ya que gracias a calcular el tiempo que van a tardar en recorrer las tensiones todo el cuadro podemos ajustar nuestro tiempo de simulación para que así los resultados que obtengamos sean totalmente fiables.[52]

Table 1. Calculated theoretical waves velocities.

Material	ν	ρ (Kg m ⁻³)	E (Pa)	λ (Pa)	μ (Pa)	c_1 (m/s)	$c_2=c_s$ (m/s)	k_1	c_R (m/s)	c_p (m/s)
Steel	0.29	7800	$198 \cdot 10^9$	$1.0598 \cdot 10^{11}$	$7.6744 \cdot 10^{10}$	5767.6	3136.7	0.9258	2904.1	5265
Iron (cast)	0.28	7700	$105 \cdot 10^9$	$5.2202 \cdot 10^{10}$	$4.1016 \cdot 10^{10}$	4175.3	2308	0.92426	2133.2	3847
Aluminum	0.33	2700	$70 \cdot 10^9$	$5.1084 \cdot 10^{10}$	$2.6316 \cdot 10^{10}$	6197.8	3122	0.93202	2909.7	5394
Hard rubber	0.4	1100	$2.1 \cdot 10^9$	$3.0 \cdot 10^9$	$7.5 \cdot 10^8$	2022.6	825.7	0.9422	778	1508

Tabla 3.12. Velocidad de propagación de la tensión en diferentes materiales.[52]

Como podemos ver en la tabla 3.12 cada material tiene su velocidad de propagación, ya que esta velocidad depende esencialmente de su densidad y su módulo de Young[52].

3.4.2. Mecánica de la fatiga.

La fatiga es un fenómeno que hace que en los materiales que son sometidos a cargas dinámicas cíclicas acaban deformando o rompiendo.

Estos materiales son sometidos a esfuerzos fluctuantes, estos esfuerzos variables, se pueden dividir en fuerza media y fuerza alternante.[38]

$$F_m = \frac{F_{m\acute{a}x} + F_{m\acute{i}n}}{2}$$

$$F_a = \left| \frac{F_{m\acute{a}x} - F_{m\acute{i}n}}{2} \right|$$

Al igual que la fuerza media y la alternante si la dividimos por el área obtendremos las tensiones alternante y media. [38]

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{m\acute{a}x} + \sigma_{m\acute{i}n}}{2}$$

$$\sigma_a = \left| \frac{\sigma_{m\acute{a}x} - \sigma_{m\acute{i}n}}{2} \right|$$

Los materiales ensayados a fatiga se someten a estos esfuerzos fluctuantes, para averiguar la resistencia a fatiga del material, normalmente estos materiales son ensayados con esfuerzos a inversión completa, esto quiere decir que la tensión máxima y la mínima son la misma pero de signo contrario, es decir la tensión máxima será un número positivo a tracción y la mínima será un número negativo a compresión. A esto se le llama razón de esfuerzo [38].

$$R = \frac{\sigma_{m\acute{i}n}}{\sigma_{m\acute{a}x}}$$

Cuando esta razón de esfuerzo es igual a -1 la carga es a inversión completa. Este dato es importante de cara a nuestro proyecto ya que a la hora de buscar la curvas S-N de materiales que vamos a utilizar para nuestro cuadro tendremos que ver si el ensayo está realizado a inversión completa.

Antes de comenzar a hablar de las curvas S-N, cabe mencionar que la falla por fatiga dependerá de muchos otros factores a parte de los esfuerzos. Uno de los aspectos más importantes que incrementa el fallo por fatiga son los concentradores de esfuerzo, estos a su vez depende del diseño de la pieza con lo cual no siempre se pueden evitar. Por ejemplo, es más probable que un eje parta por un cambio de sección que por un sitio donde la sección es constante, estos concentradores de tensión hace que esta se multiplique, incrementando la tensión en una zona localizada donde se encuentra el concentrador.

Dejando claro que el concentrador multiplica la tensión en un punto en concreto ahora se hablará de otros factores que modifican el límite de resistencia a fatiga. No es posible que el límite de resistencia a fatiga de un elemento estructural iguale a los valores que se obtuvieron en el laboratorio. Algunos de estos factores que modifican el límite a fatiga son:

- Material: Composición del mismo, variabilidad

- Manufactura: Método con el que se ha creado el elemento, tratamiento térmico, vulnerabilidad a la corrosión, acabado superficial.
- Entorno: Humedad, temperatura, tiempo sin esfuerzo
- Diseño: Tamaño, concentradores, forma, vida.

Marín recogió todos estos factores, para ajustar este límite a fatiga. Cuando no se dispone de ensayos de resistencia de esas partes las estimaciones se realizan aplicando los factores de Marin.[38]

Ahora se comentará brevemente las curvas S-N que en nuestro proyecto las necesitaremos conocer con profundidad para poder aplicarlas a los ensayos a fatiga que realizaremos.

Las curvas S-N son obtenidas a través de una serie de ensayos de una probeta del material a ensayar, esta probeta se someten a cargas cíclicas, como se ha hablado antes, puede haber varias cargas cíclicas aunque normalmente estos ensayos son a inversión completa $R = -1$. Una vez el material sometido a estas cargas cíclicas se cuanta los ciclos hasta la rotura. Este procedimiento se repite varias veces con otras probetas del mismo material y con tensiones máximas y mínimas inferiores, es decir, con una amplitud decreciente.

Los resultados de los ensayos se representan en un diagrama tensión “S” frente a logaritmo del número de ciclos “N”.

Para los materiales como el acero para un número elevado de ciclos $>10^6$, la curva S-N se hace horizontal es decir llega a la tensión límite a fatiga por la cual por valores inferiores a ésta por más ciclos que apliquemos el elemento no romperá, a esto se le llama vida infinita.

Sin embargo hay otros materiales como el aluminio que al aumentar los ciclos la curva S-N sigue decreciendo, con lo cual la rotura por fatiga ocurrirá independientemente de la tensión máxima.

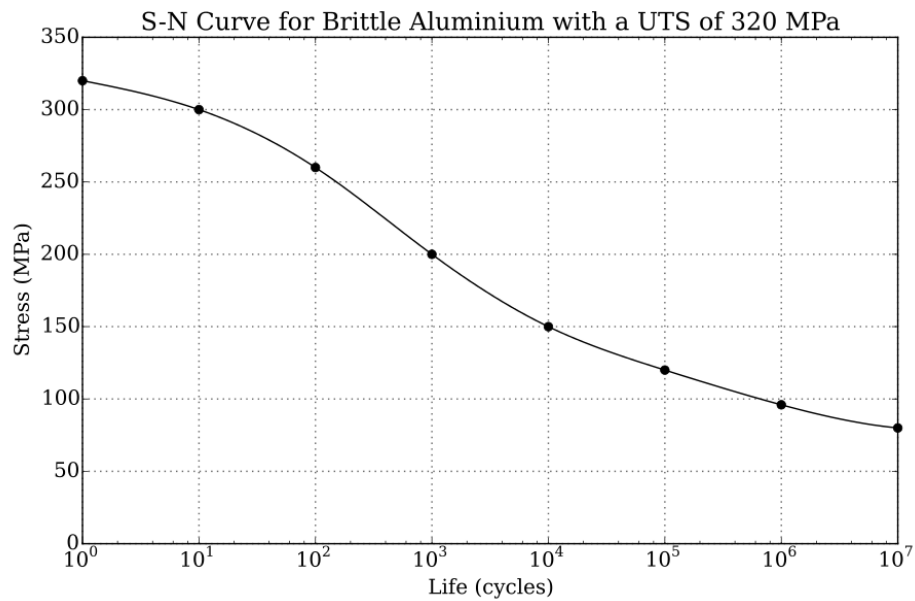


Figura 3.29. Curva S-N del aluminio [39]

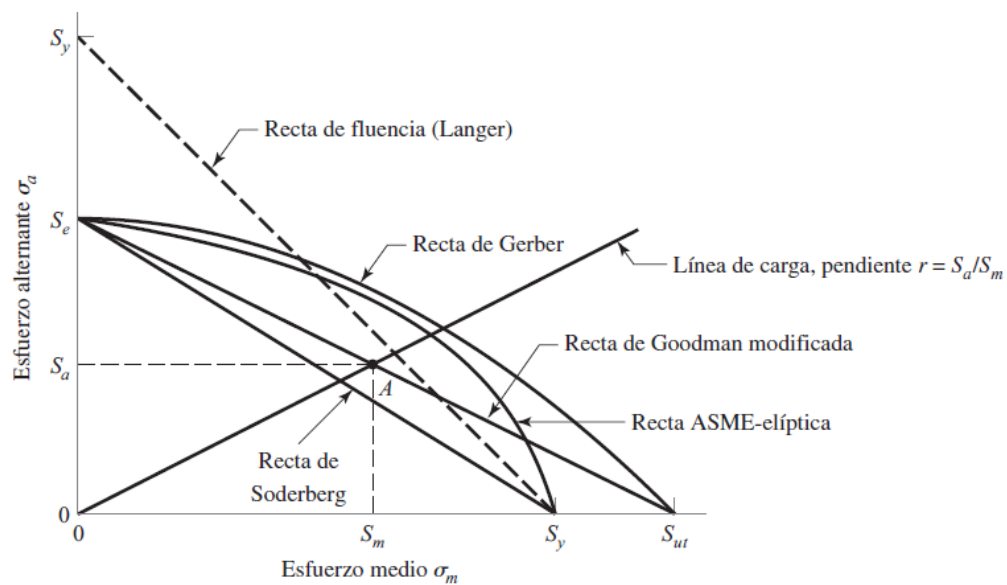


Figura 3.30. Criterios de fatiga[38]

Por último se debe tener en cuenta el criterio de fatiga que se va a utilizar, normalmente el criterio de fatiga más utilizado es el de Goodman, que tiene en cuenta la resistencia última, es el más utilizado por varias razones:

- Es una línea recta y los cálculos son más fáciles y sencillos
- Es fácil de graficar para cada problema
- Expone aspectos sutiles de discernimiento en problemas de fatiga

- Las respuestas se pueden escalar a partir de los diagramas, como una verificación del álgebra.

Otros criterios como el de Soderberg ofrece protección contra fluencia, que para ciertos estudios es realmente interesante tenerlo en cuenta.

El de Gerber es similar al de Goodman pero analizándolo se puede probar que una parábola tiene mejor oportunidad de pasar entre los datos y permitir la cuantificación de probabilidad de falla.

4. Metodología

4.1. Condiciones de contorno

4.1.1. Exploración de los modelos ya existentes en el mercado.

Para comenzar nuestro diseño vamos a explorar los diferentes modelos de bicicletas de enduro que existen en el mercado. Analizaremos la solución de cada fabricante a la hora de incorporar la suspensión trasera ya que según donde se coloque influirá directamente tanto en la geometría como en el manejo de la misma.

- Suspensión trasera con disposición vertical

Esta solución que ofrecen los fabricantes puede presentarse de dos maneras:

- Atraviesa por abajo el tubo del sillín colocándola aproximadamente donde sería del centro de masas de la bicicleta Figura 4.1.
- No atraviesa el tubo del sillín, con lo cual debe quedar un espacio horizontal en el tubo inferior para el soporte de la suspensión trasera Figura 4.2.



Figura 4.1. Bicicleta Mondraker de enduro [40]



Figura 4.2. Bicicleta Canyon de enduro [41]

Ahora mencionaremos brevemente las ventajas y las desventajas que tiene esta solución:

- Ventajas: Tiene el centro de gravedad más bajo por lo que lo hace más estable a la hora de realizar bajadas.[42]
- Desventajas: La suspensión está más expuesta a ser golpeada por una piedra. Para anclar la suspensión al cuadro se necesita una bieleta de anclaje más grande lo que supone que la bicicleta será más pesada. [42]
- Suspensión con disposición horizontal

Es un término intermedio entre la anterior disposición y la siguiente que hablaremos a continuación.

Esta solución es más frecuente verla en bicicletas de cross-country, ya que su disposición es menos efectiva que las anteriores a la hora de absorber pequeñas irregularidades, aún así hay fabricantes que la utilizan.

Por ejemplo Orbea, la utiliza en sus cuadros de carbono con una solución bastante interesante para dar rigidez al cuadro a la vez que utilizar esta solución, esta solución ha sido colocar un tirante en paralelo a la suspensión

- Ventajas: Al estar la suspensión en posición horizontal la fuerza se transmite de manera más directa dado que también no suele haber basculante de por medio, por lo tanto son más reactivas y ágiles. Este tipo de disposición puede o no llevar basculante. [42]
- Desventajas: La única desventaja se podría decir es que su punto de gravedad es más alto que las anteriores lo que equivale a algo de inestabilidad en las bajadas. [42]



Figura 4.3. Bicicleta Pivot de enduro [43]



Figura 4.4. Bicicleta Orbea Rallon de enduro [44]

Prácticamente se puede concluir diciendo que no hay una disposición mejor que otra, si no que él la disposición se debe adaptar a la tipo de conducción que lleve el ciclista y como se sienta el más cómodo, ya que a unos la disposición vertical les puede parecer más ágil y estable, y a otros la horizontal más cómoda y reactiva. [42]

4.1.2. Aspectos de la geometría

- Ángulo de dirección

El ángulo de dirección es la medida en grados que forma el tubo de dirección con la horizontal del suelo Figura 4.5, esta medida configura la inclinación de la horquilla respecto al firme. Por ejemplo, un ángulo de dirección de 90 grados significa que el tubo de dirección estaría totalmente perpendicular a la línea horizontal del suelo, por lo que la horquilla estaría montada de forma totalmente vertical.

El ángulo de dirección de una bicicleta puede variar según la modalidad que estemos tratando, los ángulos más cerrados son utilizados para las bicicletas de cross-country mientras que los más abiertos se encuentran las bicicletas de descenso, entre medias de estos dos podemos encontrar las medidas que utilizan las bicicletas de trail y enduro.

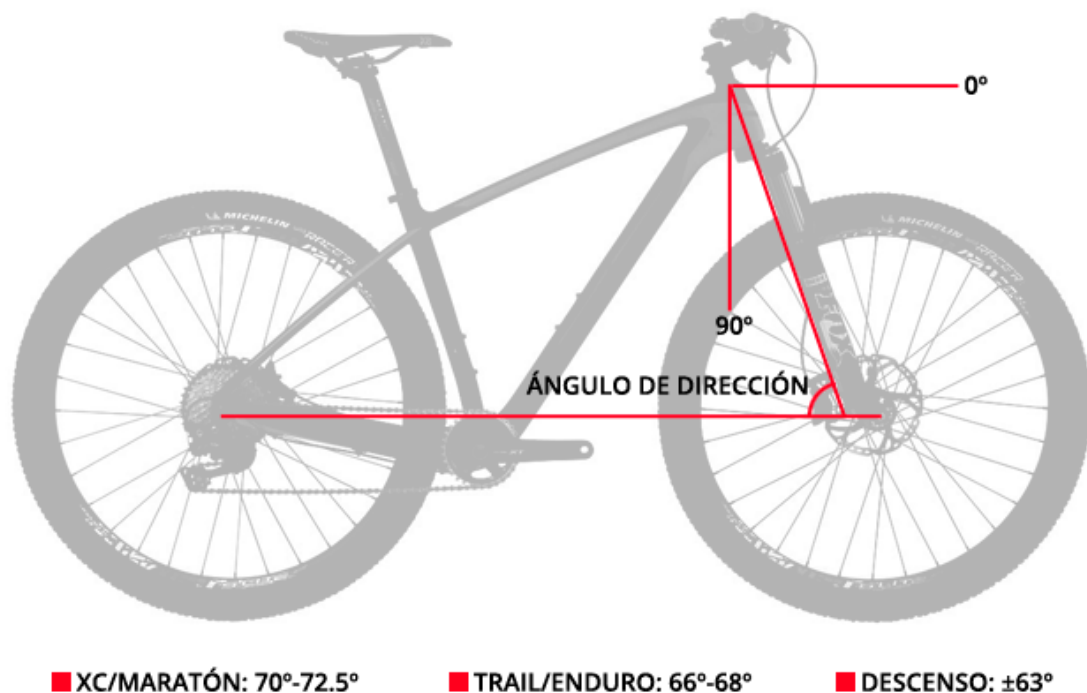


Figura 4.5. Medidas del ángulo de dirección[45]

¿En qué interfiere el ángulo de dirección en una bicicleta? Con un ángulo de dirección cerrado la horquilla se posiciona más cerca del centro de gravedad de la bicicleta lo que hace que se aproveche mejor a las horas de las subidas toda la energía que ejerce el ciclista sobre los pedales.

Un ángulo de dirección abierto aleja a la horquilla y por lo tanto la rueda del tubo de dirección, esto hace que estas bicicletas son realmente eficientes a la hora de bajar además de que absorben con más facilidad los obstáculos que se pueden encontrar en el descenso, sin embargo estos ángulos impiden que la bicicleta sea eficiente en las subidas ya que la rueda delantera al estar más desplazada hacia delante tiene menos peso y es más fácil que pierda tracción. [45] [46]

- Ángulo del tubo del sillín

Esta medida junto con el ángulo de dirección son las encargadas de posicionar al ciclista encima de la bicicleta. El ángulo del sillín es la medida en grados que forma el tubo del sillín con la horizontal. Figura 4.6

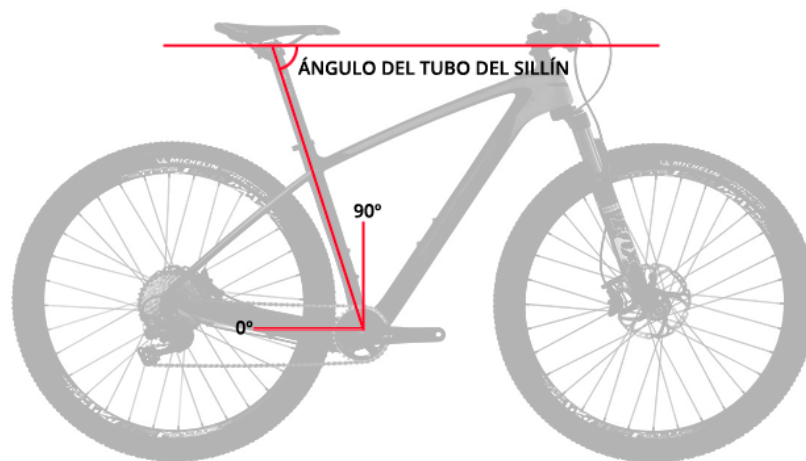


Figura 4.6. Ángulo del tubo del sillín [45]

La mayoría de ángulos de tubo del sillín rondan entre los 72 y 74 grados. Estos ángulos afectan directamente a la posición del cuerpo del ciclista encima de la bicicleta. Una posición más adelantada, es decir un ángulo más abierto, hace que el peso del ciclista recaiga más sobre la rueda delantera, esto es especialmente bueno para la disciplina cross country, no obstante un ángulo más cerrado hace que el sillín se sitúa más atrás, recayendo el peso del ciclista sobre la rueda trasera, lo que mejora el comportamiento en el descenso.[45][46]

- Longitud de las vainas

La longitud de vainas es la medida que se encuentra desde el centro del eje de pedalier hasta el eje de la rueda trasera Figura 4.7. Como es obvio esta longitud afecta directamente al comportamiento de la bicicleta. En general una longitud de vainas cortas hace que la rueda trasera reciba mayor peso del ciclista haciendo que su agarre con el firme mejore considerablemente, unas vainas largas hace que la bici sea estable a altas velocidades y en llano, pero sin embargo perdemos tracción tanto en los ascensos como en los descensos.



Figura 4.7. Longitud de vainas [45]

Hoy día la tendencia de todas las marcas es de realizar cuadros con la longitud de vainas cortas, independientemente de la modalidad de que se trate, ya que como se ha dicho mejoran el comportamiento además de su rigidez. [45][46]

- Reach (Alcance)

El Reach es la distancia horizontal que se encuentra entre el centro del tubo de dirección y el centro del eje pedalier. Figura 4.8

En esta distancia influyen factores como la longitud del tubo superior, a mayor distancia la posición encima de la bicicleta será más estirada.

La aparición de esta medida se debe a los cuadros con "sloping" que quiere decir que el tubo superior cuenta con cierta inclinación respecto al eje horizontal. Por eso ha sido necesaria la creación de esa medida para que dependiera de sí misma y que los ángulos tanto del tubo superior como otros no puedan afectarla.

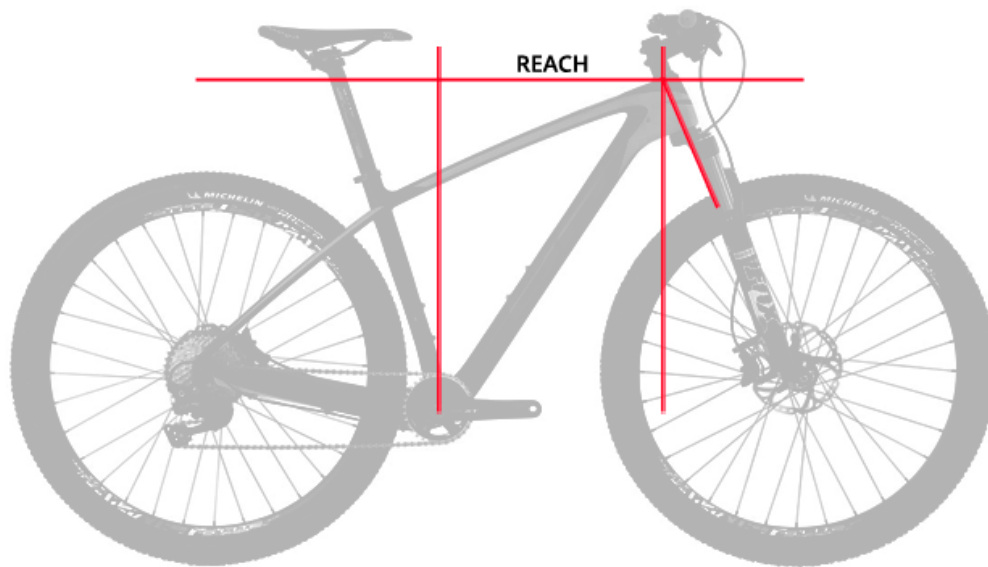


Figura 4.8. Reach[45]

Hoy en día el Reach es la mejor medida para conocer la talla de la bicicleta, ya que tiene en cuenta las inclinaciones del tubo de dirección y por lo tanto el tubo superior.[45][46]

- Stack

El Stack es la medida dada por la línea vertical desde el centro del eje pedalier hasta la perpendicular que se encuentra a la altura del centro del tubo de la dirección.

Figura 4.9.

La aparición de esta medida se debe al mismo suceso que la anterior, la aparición de cuadros con “sloping”

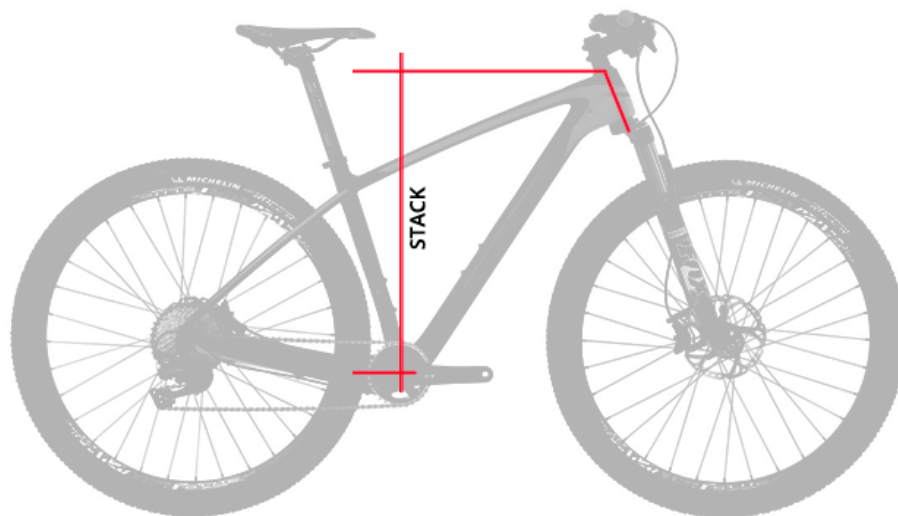


Figura 4.9. Stack [45]

El Stack se ha convertido en la forma más precisa de medir la altura del cuadro de una bicicleta, y por tanto también determinar la talla, no cabe duda que el Stack y el Reach nos marcan por completo la talla de la bicicleta.[45] [46]

- Offset de la horquilla

Esta medida es la distancia horizontal que hay entre la línea imaginaria del tubo de la dirección con la línea paralela a esta que pasa por el punto del eje de la rueda delantera. Figura 4.10.

El principal objetivo del offset de la horquilla, también llamado avance, es aumentar o reducir el trail de la horquilla, que este viene determinado a su vez por el ángulo de dirección del cuadro, si tenemos un ángulo más cerrado como puede ser bicicletas de enduro el mayor avance ayuda a reducir el trail lo que se traduce en una mejora de maniobrabilidad y estabilidad encima de la bicicleta, mientras que los modelos que tienen un ángulo de dirección más abierto como puede ser las bicicletas de cross-country un menor avance aumenta el trail para si obtener un equilibrio.

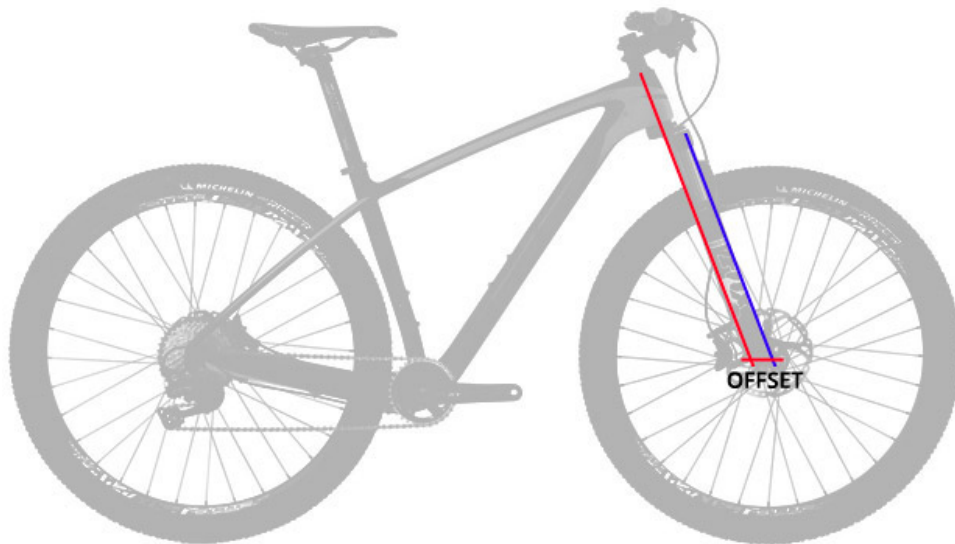


Figura 4.10. Offset de la horquilla [45]

El offset viene determinado por la propia suspensión, luego los fabricantes de cuadros no es un parámetro que puedan modificar.

Sin embargo es un parámetro a tener en cuenta a la hora de establecer un ángulo de dirección ya que tendremos que tener en cuenta el offset para adquirir un trail equilibrado. [45] [46]

- Trail de la horquilla.

El trail es la distancia horizontal que hay entre las dos líneas imaginarias cuando cortan el eje horizontal que se encontraría en el suelo, una la del tubo de la dirección y la otra la vertical que se encuentra en el eje de la rueda delantera. Dicho de otra forma, si prolongamos una línea imaginaria desde el tubo de dirección, manteniendo la angulación de este, hasta que corte con el suelo, y otra línea desde el eje de la dirección en vertical hasta el suelo, la distancia que haya entre ellas en dicho corte es el trail. Figura 4.11.

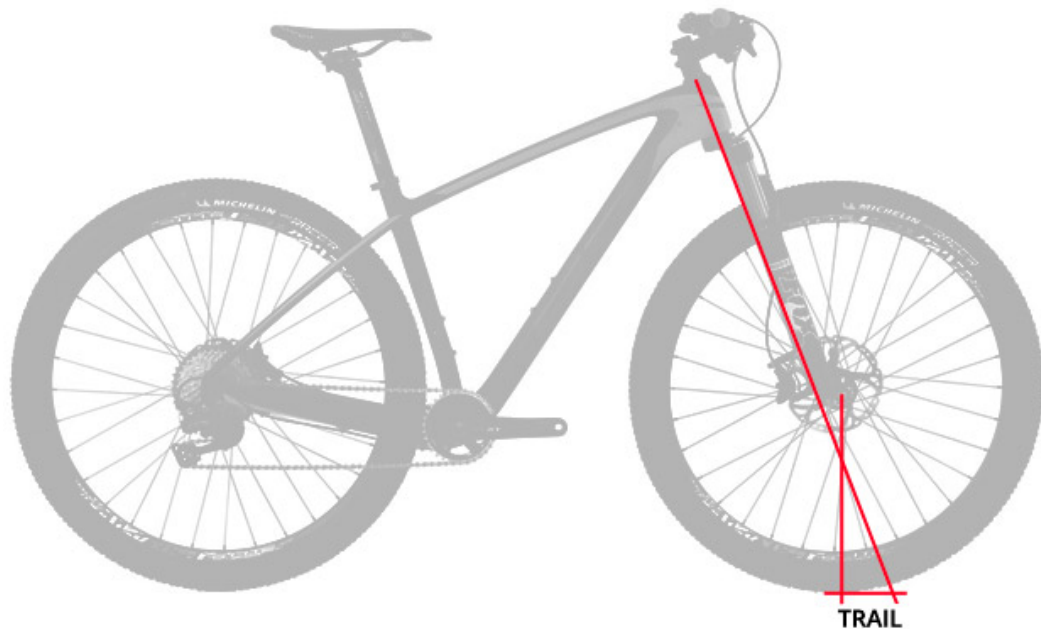


Figura 4.11. Trail de la horquilla [45]

Esta medida viene determinada por varios factores entre ellos se encuentra, el ángulo de tubo de dirección, la longitud de la horquilla y la longitud de las punteras de la horquilla, este último es el que hemos llamado anteriormente avance de la horquilla.

Un mayor trail se traduce en una mayor estabilidad de la bicicleta en altas velocidades y una mejor autoalineación de la rueda, mientras que un trail menor hace que la bicicleta sea más reactiva a bajas velocidades. [45][46]

- Altura del eje pedalier

La altura del eje pedalier es la medida que se encuentra desde el suelo hasta el centro del eje del pedalier. Figura 4.12.

Esta medida viene determinada por el tamaño de rueda y la propia geometría del cuadro, como es obvio una altura del pedalier baja supone más tracción y un centro de gravedad más bajo lo que supone más estabilidad en las bajadas.



Figura 4.12. Altura del eje de pedalier [45]

Sin embargo tener una altura de pedalier baja para las bicicletas de enduro es un inconveniente, cierto es que mejoraría ciertamente en las bajadas sin obstáculos, pero no obstante en las bajadas con trialeras, piedras, raíces y otros obstáculos, el pedalier estaría más expuesto a ser golpeado contra esto y por lo tanto provocar una caída o la fractura del propio cuadro. [45][46]

- Distancia entre ejes

La distancia entre ejes o batalla es la medida horizontal que se encuentra desde el eje de la rueda delantera al eje de la rueda trasera. Figura 4.13.

Esta medida viene determinada por varios aspectos geométricos de la bicicleta como pueden ser el Reach, la longitud de las vainas traseras, el ángulo de dirección y en cierta medida el offset de la horquilla.



Figura 4.13. Batalla [45]

Esta distancia afecta al comportamiento de la siguientes maneras:

Una distancia entre los ejes larga equivale a una bicicleta más estable y con mayor flexión vertical y por lo tanto más cómoda, mientras que una distancia corta hace que la bicicleta sea más compacta y nerviosa a parte de ser más rígida, esta última medida se suele utilizar para bicicletas de cross-country ya que favorece su rigidez, y la distancias más largas se suelen utilizar en bicis de descensos para ofrecer una mayor estabilidad en tramos descendentes. [45][46]

- Diámetro de la rueda

Es un aspecto que influye en la geometría directamente, ya que el tamaño de la rueda influirá en aspectos como el reach o la longitud de vainas y tirantes.

Una rueda de 29" harán que la bicicleta sea más larga y su batalla sea mayor, dado que las vainas tienen que ser mayores para alojar mayor diámetro de rueda, sin embargo ruedas de menor envergadura harán que la bici será más compacta.

Hoy día las ventajas que ofrecen las ruedas de 29" superan ampliamente a los inconvenientes por lo que es frecuente que haya fabricantes que todas sus gamas las ofrecen con esta medida.

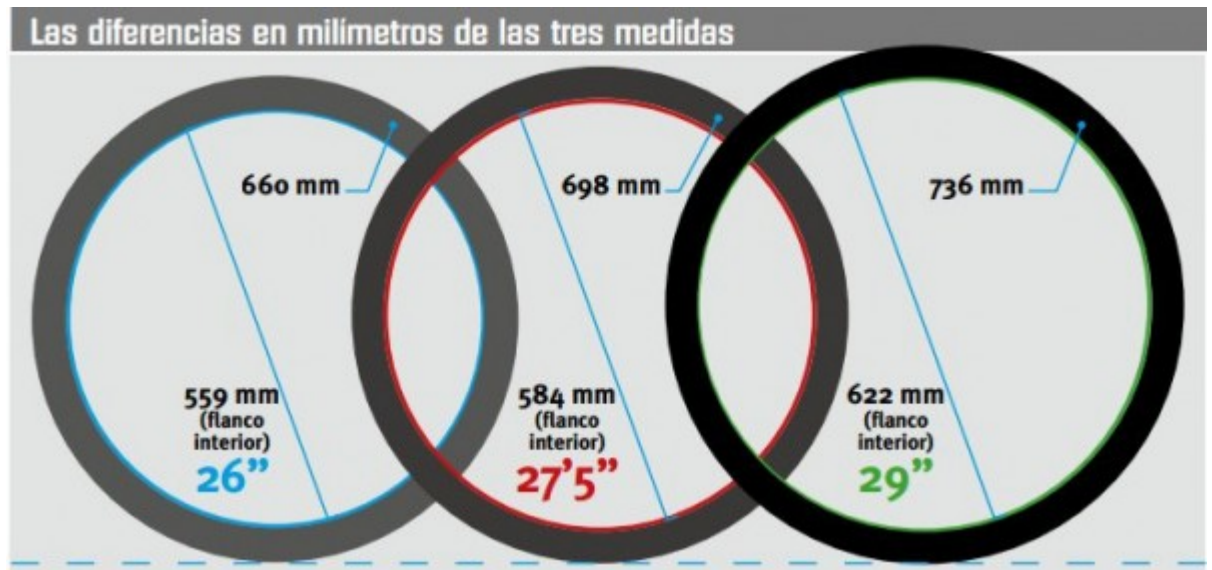


Figura 4.14. Diferentes medidas en ruedas de bicicletas de montaña [47]

4.1.3. Modelos de referencia

A la hora de la elaboración de la geometría de nuestro cuadro tendremos diversos modelos de referencia para guiarnos en las medidas, se ha decidido por la solución de la suspensión colocada en la parte inferior ya que nuestro objetivo es conseguir una bici más bajadora. Las medidas que escogeremos serán para una talla "M" ya que a la hora de encajar la rueda en el conjunto tendremos menos problemas, debido a sus mayores distancias.

A continuación se mostraran las bicicletas elegidas de referencia así como sus medidas en la tabla 4.1.



Figura 4.15. Scott Ramson 910 2021[48]



Figura 4.16. Canyon Strive 2021 [41]

Modelo	Mondraker Super Foxy 2021	Mondraker Foxy	Canyon Strive 2021	Scott Ransom 910 2021
Reach	470 mm	460 mm	434 mm	439,5 mm
Stack	614 mm	622mm	635 mm	613,6 mm
Longitud tubo sillín	420 mm	420 mm	440 mm	440 mm
Longitud de vainas	440-450 mm	435 mm	435 mm	437,9 mm
Ángulo tubo del sillín	70,5°	69,5°	72,9-74,4°	75°
Ángulo de dirección	65°	65,5°	65,4-66,9°	64,5°
Offset de la	44 mm	44 mm	xx	xx

horquilla				
Distancia entre ejes	1220 mm	1215 mm	1200 mm	1215,9 mm
Longitud tubo dirección	100 mm	110 mm	100 mm	100 mm

Tabla 4.1. Medidas de los modelos de referencia [48][41][40]

También cabe mencionar que todas las bicicletas que hemos elegido tienen medida de rueda 29", que es por la que también optamos en nuestro diseño ya que sin duda alguna es la que ofrece más ventajas, y la mayoría de modelos que se venden en el mercado son de esta medida.

4.2. Metodología del diseño

En este apartado se expondrán los pasos que se han llevado a cabo para la realización del diseño del cuadro, así como las tecnologías que se han utilizado y diferentes consideraciones que se han tenido en cuenta según estándares del mercado.

4.2.1. Geometría inicial

A continuación se expondrá de la geometría desde la que parte nuestro diseño esta vendrá expuesta en la tabla xx. Se debe tener en cuenta que esta geometría desde la que parte el diseño no es la geometría definitiva, ya que esta no tiene en cuenta espesores y diversos factores y problemas que aparecen mientras se diseña el cuadro. Lo que se muestra en la siguiente tabla son las medidas base que conformarán nuestro diseño, estas medidas se han cogido observando los modelos anteriores y realizando bocetos para ver cuál serían las más adecuadas.

Reach	460 mm
Stack	590 mm
Longitud del tubo del sillín	420 mm

Longitud de vainas	435
Ángulo del tubo del sillín	75,5°
Ángulo de dirección	65 °
Offset de la horquilla	xx
Distancia entre ejes	>1170 mm
Longitud tubo de dirección	110 mm

Tabla 4.2. Geometría inicial

Se ha comenzado trazando las líneas de la longitud del tubo del sillín y que ángulo va a tener este, después se han trazado el Reach y Stack al principio el Stack empezó siendo algo mayor acercándose a los 600 mm que miden las bicicletas del mercado, sin embargo debido a cuestiones de diseño, entre la que estaba una longitud de tubos demasiado elevada, debió ser reducida a 590 mm.

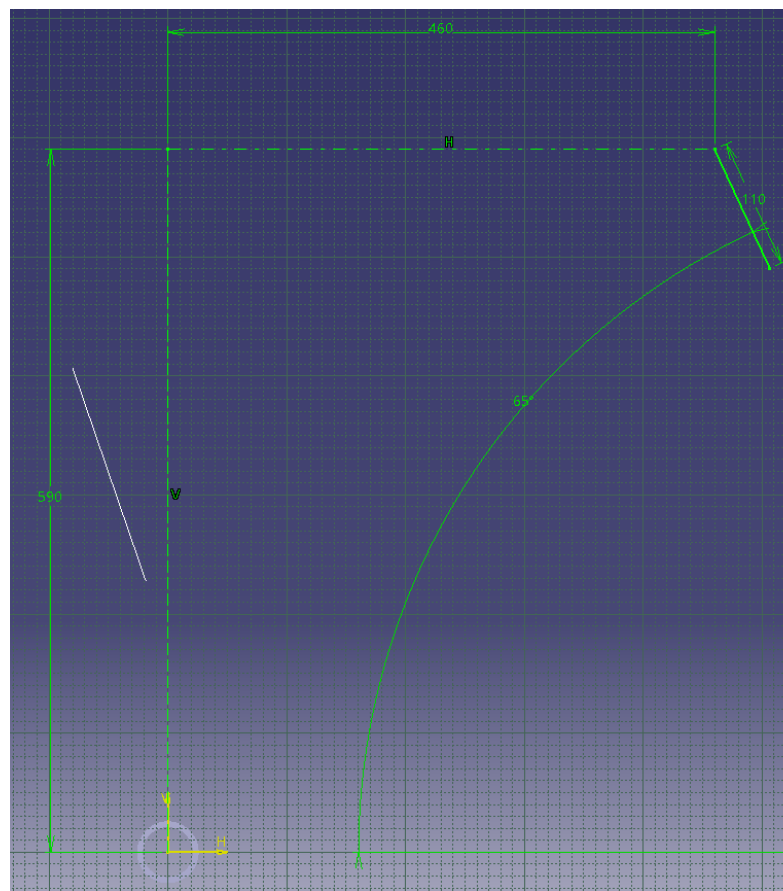


Figura 4.17. Reach y Stack del diseño

En cuanto al ángulo de dirección se ha optado por un ángulo más cerrado lo que hace que nuestro cuadro está más pensado para las bajadas y la buena absorción de las irregularidades del terreno. El tubo de dirección la elección han sido 110 mm ya que básicamente es un estándar entre todas las bicicletas de hoy día, rondan entre los 100 y 110 mm.

En la longitud de vainas se ha intentado ajustar a la menor medida posible sabiendo que debe caber una rueda de 29", esta medida ha sido 435mm de las menores que hay entre las bicicletas de referencia, esto le dará mayor rigidez a la bicicleta

Hablando de la distancia entre ejes es algo que no podemos saber de antemano ya que dependerá de la horquilla que se le monte, ya que el offset de la horquilla influenciará a esta medida. Sin embargo, sumando la longitud de vainas y trazando una línea que corte con la proyección de la prolongación del tubo de la dirección se ha hallado una medida de unos 1170 mm que si a esto le sumamos unos 44 mm de offset de la horquilla que montan la bicicleta Mondraker Foxy, obtendremos 1214 mm básicamente una medida que esta entre la media de la competencia.

4.2.2. Tecnologías usadas

A continuación, se expondrán qué tecnologías se han tenido en cuenta para el diseño del cuadro, así como otras medidas normalizadas que se han utilizado.

- Tipo de caja de pedalier.

En este apartado se ha tenido en cuenta sobre todo las últimas tecnologías que hay en cuanto a transmisiones, la mayoría de bicicletas de enduro montan una transmisión 1x12, que suelen ir acompañadas de un eje "DUB" de Sram.

Así que se ha elegido unos 73 mm de largo con un diámetro de 42mm para que un pedalier de estas características pueda ser instalado.

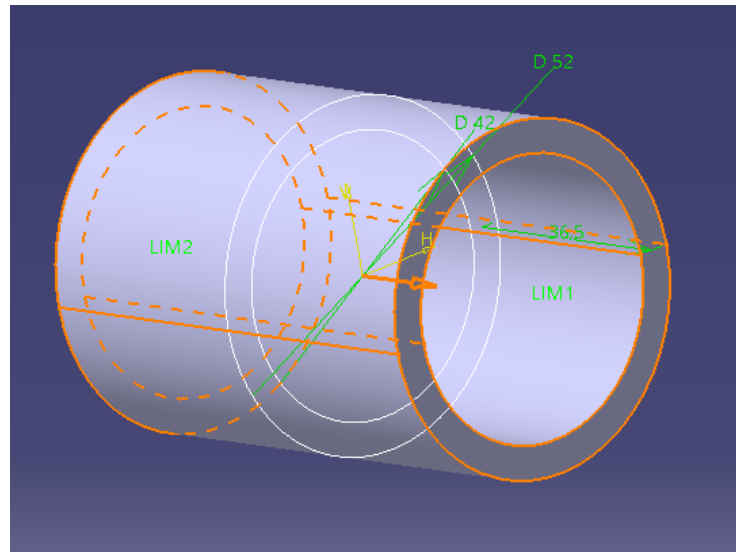


Figura 4.18. Medidas de la caja pedalier

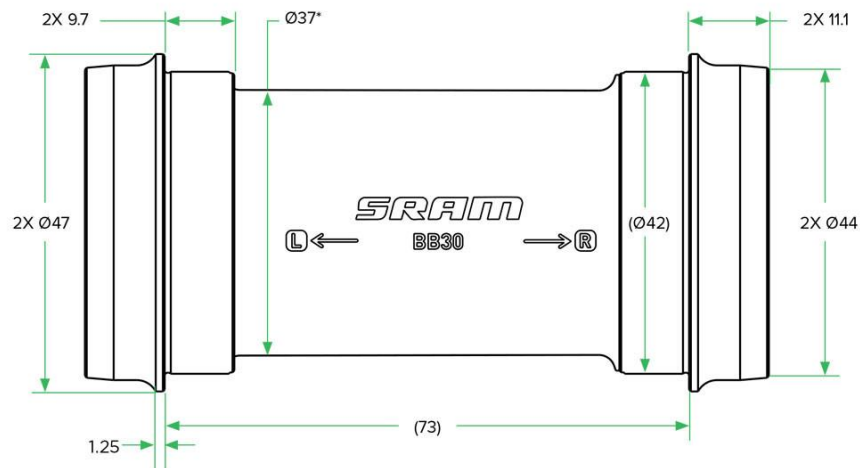


Figura 4.19. Tipo de eje pedalier a instalar

- Tipo de dirección

Se ha elegido la dirección semi integrada 1 1/8" (tapered) o conificada, se ha elegido conificada ya que permite en el diseño que la dimensión del tubo inferior bastante superior a la del tubo inferior dándole una mayor rigidez al

cuadro.

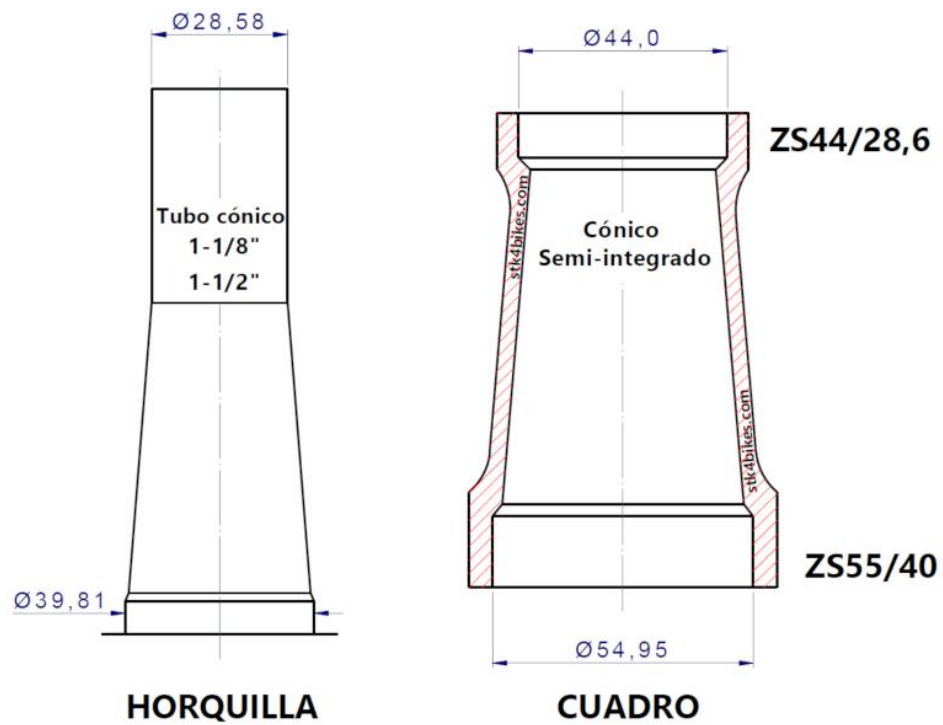


Figura 4.20. Tipo de dirección montada

- Medida de la tija.

En cuanto a la medida de la tija del sillín se ha elegido el estándar de 31,6 mm de diámetro simplemente porque era el que mejor se adapta al tubo que se ha elegido.

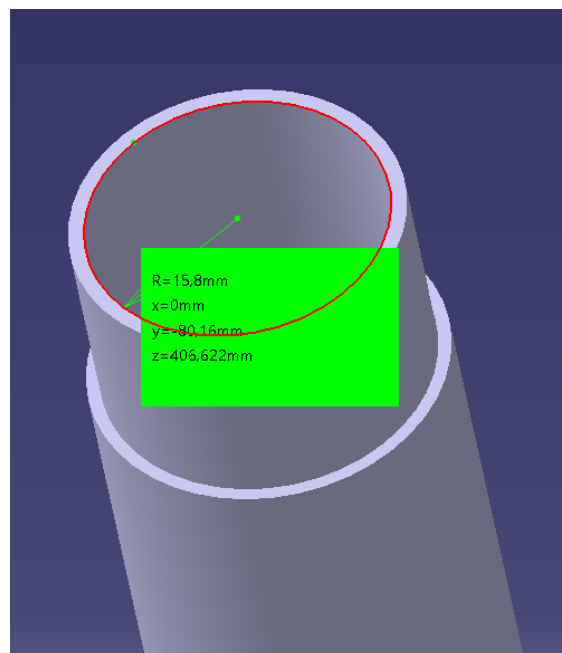


Figura 4.21. Medida del tubo de la tija del sillín

- Eje de rueda trasero

En la rueda trasera se pretende instalar las nuevas ruedas que van montadas con los bujes superbust por lo tanto una de las medidas que tienen estos ejes para soportar estos bujes es 153 mm.

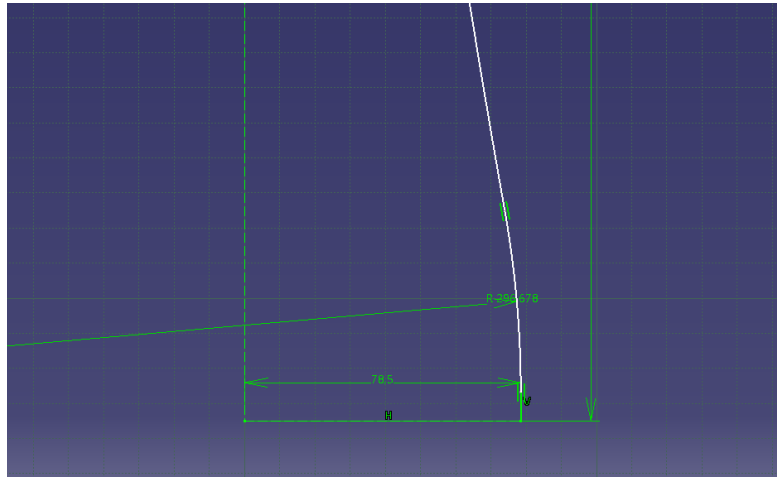


Figura 4.22. Medida del eje de la rueda trasera

4.2.3. Diseño Cuadro principal

A continuación se narrará el proceso que se ha tenido para el diseño del cuadro principal.

Para comenzar se ha empezado por la caja de pedalier lo que ha sido la base del diseño, justo después se ha establecido el stack y el reach del cuadro lo que nos limitará las medidas siguientes. Se ha establecido la medida del de la tija del sillín teniendo en cuenta que después la suspensión atravesará por la parte de abajo este mismo.

Establecido el stack, reach y la longitud de la pipa de dirección solo es necesario unir el tubo de la tija con el tubo de la dirección.

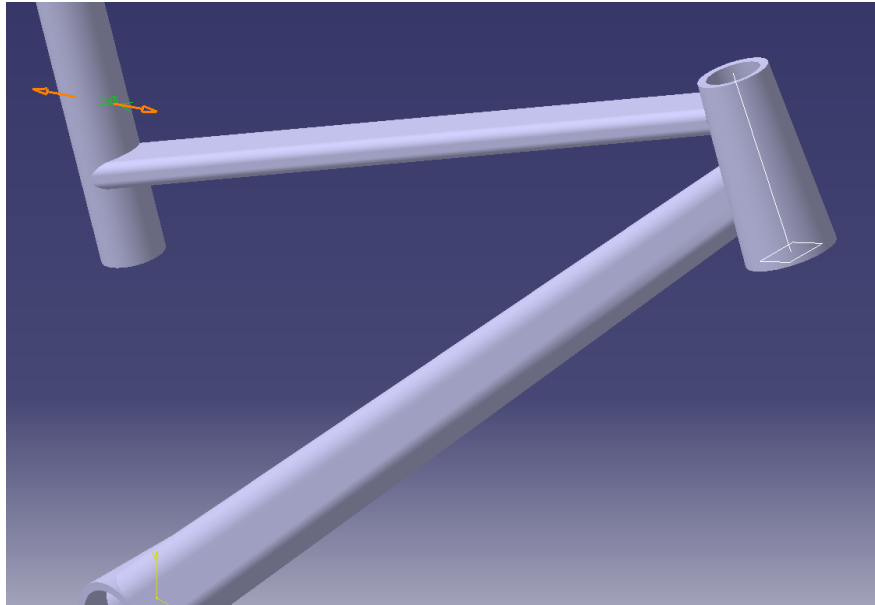


Figura 4.23. Unión del tubo superior

La geometría del tubo superior es distinta a la del superior, siendo el tubo inferior más grueso y de mayor diámetro haciendo que la bici tenga una mayor rigidez. Tanto en el tubo superior como en el inferior se ha optado por un espesor de 3 mm esto podrá variar si a la hora de introducirlo en Ansys vemos un peso demasiado elevado de nuestro cuadro.

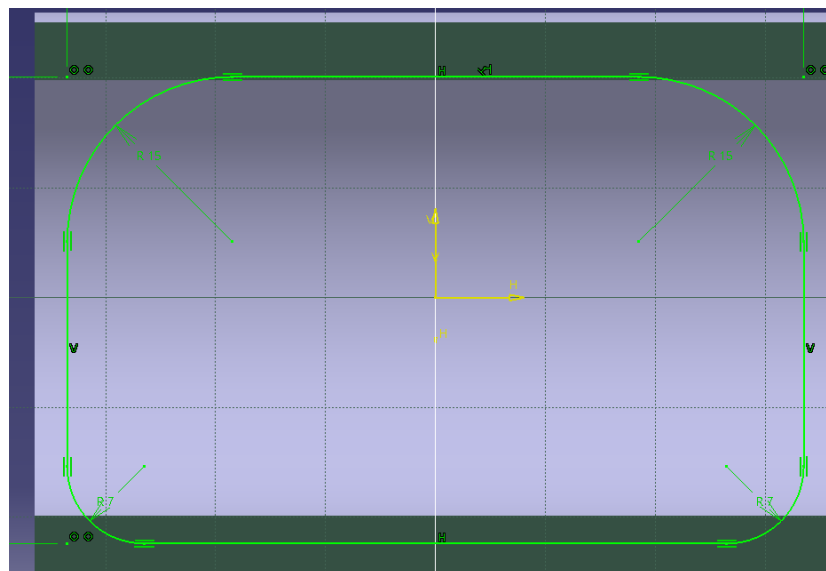


Figura 4.24. Geometría del tubo inferior.

Uno de los aspectos más delicados del diseño sin duda han sido los dos tubos que unen la caja pedalier con el tubo superior, ya que debían ser lo suficientemente rígidos como para no deformarse con el peso del ciclista además de no interferir geométricamente con otros

elementos como la suspensión que los atraviesa, además no pueden ser demasiado gruesos ya que pueden interferir en el pedaleo del ciclista por eso estos tienen un menor grosor que el tubo superior e inferior del cuadro, su grosor son 2,5 mm

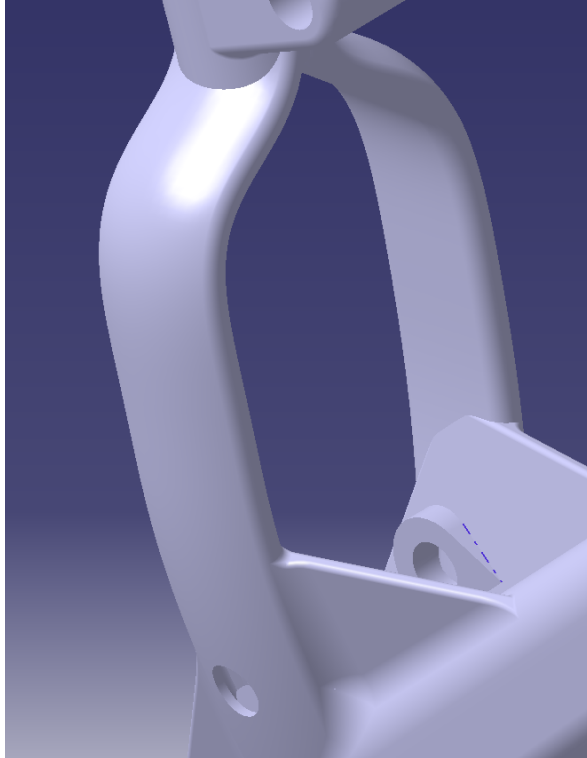


Figura 4.25. Tubos de unión parte inferior con tubo tija del sillín

Por último, cabe mencionar del cuadro principal los rodamientos que unirán y permitirán el movimiento de los basculantes y el cuadro trasero, la unión inferior se ha realizado al terminar el cuadro principal sin embargo la unión superior, se ha tenido que tener otros factores en cuenta como la longitud de las vainas traseras superiores y la medidas que tendría nuestro basculante superior, es por eso que se ha dejado para el final, una vez estuviesen terminadas las piezas mencionadas.

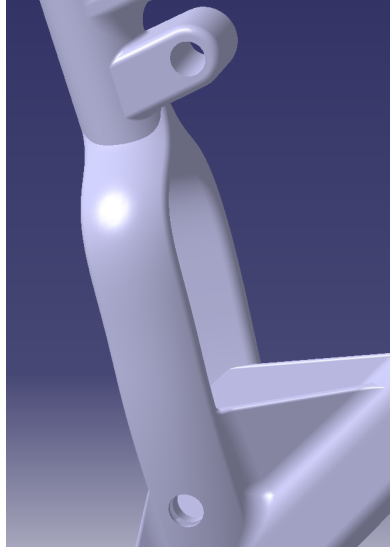


Figura 4.26. Huecos de los rodamientos.

4.2.4. Diseño Cuadro trasero

Una vez establecidas las medidas principales del cuadro trasero como la distancia que debe haber entre punteras el resto, es decir, la distancia que tendrá el eje de la rueda, y la longitud de las vainas el resto será adaptar las medidas al cuadro principal y que visualmente sea atractivo, el grosor de las vainas ha variado de entre 2 y 3 mm siendo la mayor medida para las vainas que se encuentra en el inferior.

Por último, cabe comentar el diseño de los alojamiento de los rodamientos superior, se ha hecho para que el basculante se introduzca entre el cuadro, lo que aportará mayor rigidez a la unión

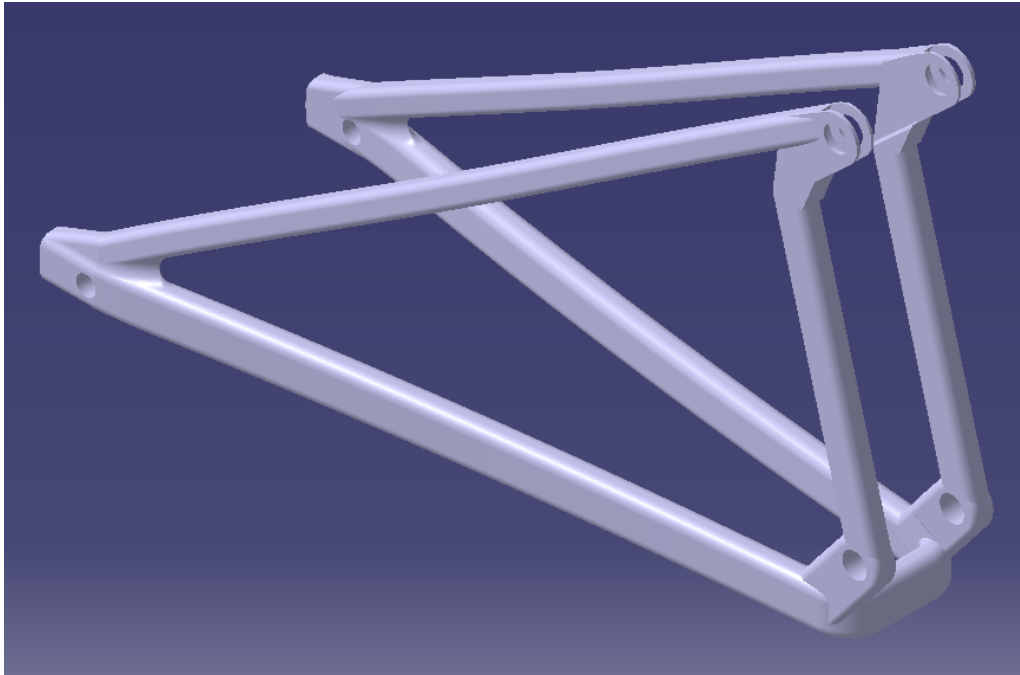


Figura 4.27. Cuadro trasero

4.2.5. Diseño de basculantes, uniones “Linkers”

En cuanto a los basculantes o uniones entre los dos cuadros, las medidas que se han tenido en consideración es la distancia que debe haber entre los dos cuadros, para que el sistema funcione sin roces y correctamente.

La unión inferior solo se ha tenido en cuenta que la parte inferior del cuadro trasero no roce con la caja pedalier del cuadro principal, este punto se podría haber solventado de diferentes maneras, uno podría ser haber unido directamente el cuadro trasero con el delantero alargando un poco la puntera donde se aloja el rodamiento, esto hubiese ahorrado unos gramos en nuestro diseño, ya que carece de la presencia de una unión inferior, sin embargo se ha optado por esto ya que otorgará más flexibilidad a la unión además de poder hacer el cuadro trasero más compacto.

Esta unión además servirá de soporte para la suspensión trasera que se apoyará en el elemento.

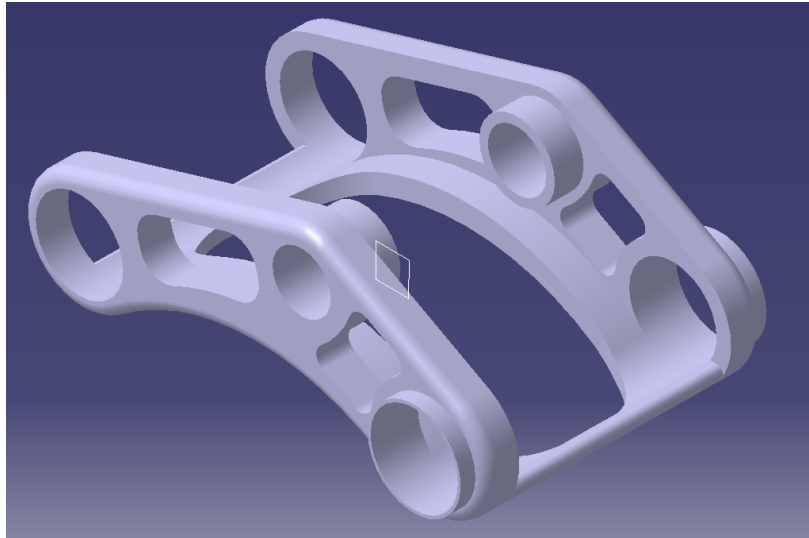


Figura 4.28. Unión inferior.

Por último la unión superior es la que pivotara transmitiendo el esfuerzo a la suspensión trasera, esta unión según el tipo de cuadro que se ha elegido diseñar no hay forma de suprimirla.

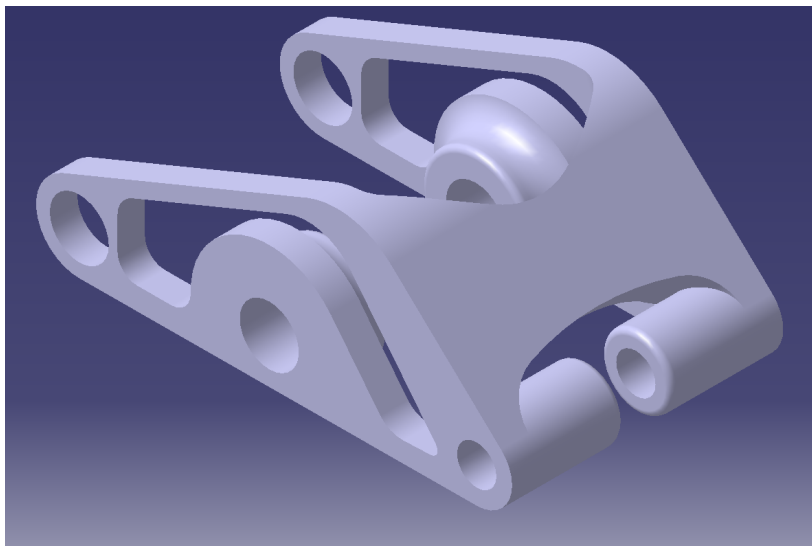


Figura 4.29. Unión superior

4.2.6. Geometría y diseño final.

Por último en este apartado se expondrá el diseño final, ya con todas las piezas montadas y con la geometría obtenida al final, se comparará con la geometría que se ha tenido en cuenta al principio y se verá si ha variado demasiado.

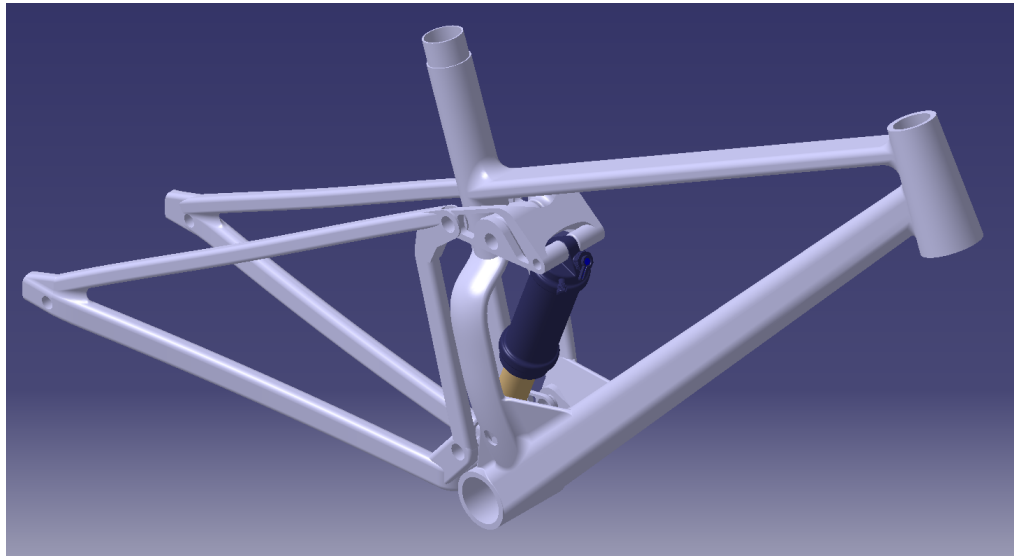


Figura 4.30. Diseño finalizado

Se ha diseñado y añadido una suspensión trasera, para ver si encajan las piezas correctamente, este elemento es meramente decorativo ya que la hora del análisis y los ensayos de resistencia deberá ser sustituida por una barra metálica como indica la normativa, de esto se hablará más adelante.

En cuanto a la geometría que se expondrá en la tabla 4.3 no ha variado demasiado con respecto a la geometría inicial. El Reach y el Stack han permanecido intactos ya que prácticamente han sido la base del diseño, una de las medidas más afectadas ha sido la longitud de las vainas que de 435 mm ha pasado a 438,9 mm esto es debido es porque a la hora del diseño de cuadro trasero no se ha tenido en cuenta la distancia que debe quedar entre el cuadro trasero y la caja pedalier de ahí se han visto incrementados esos casi 14 mm, aun así esta dentro de los límites aceptables por lo que se continuará realizando las siguientes pruebas pertinentes. Otra medida que se ha visto modificada ha sido la del tubo del sillín, esto ha podido ser debido a que a la hora del diseño se ha debido modificar el ángulo del tubo del sillín, aun así se sigue manteniendo el Reach y el Stack intactos por lo que la medida es aceptable.

Reach	460 mm
Stack	590 mm
Longitud del tubo del sillín	410,57 mm
Longitud de vainas	438,9
Ángulo del tubo del sillín	71
Ángulo de dirección	65 °
Offset de la horquilla	xx
Distancia entre ejes	>1170 mm
Longitud tubo de dirección	110 mm

Tabla 4.3. Geometría final

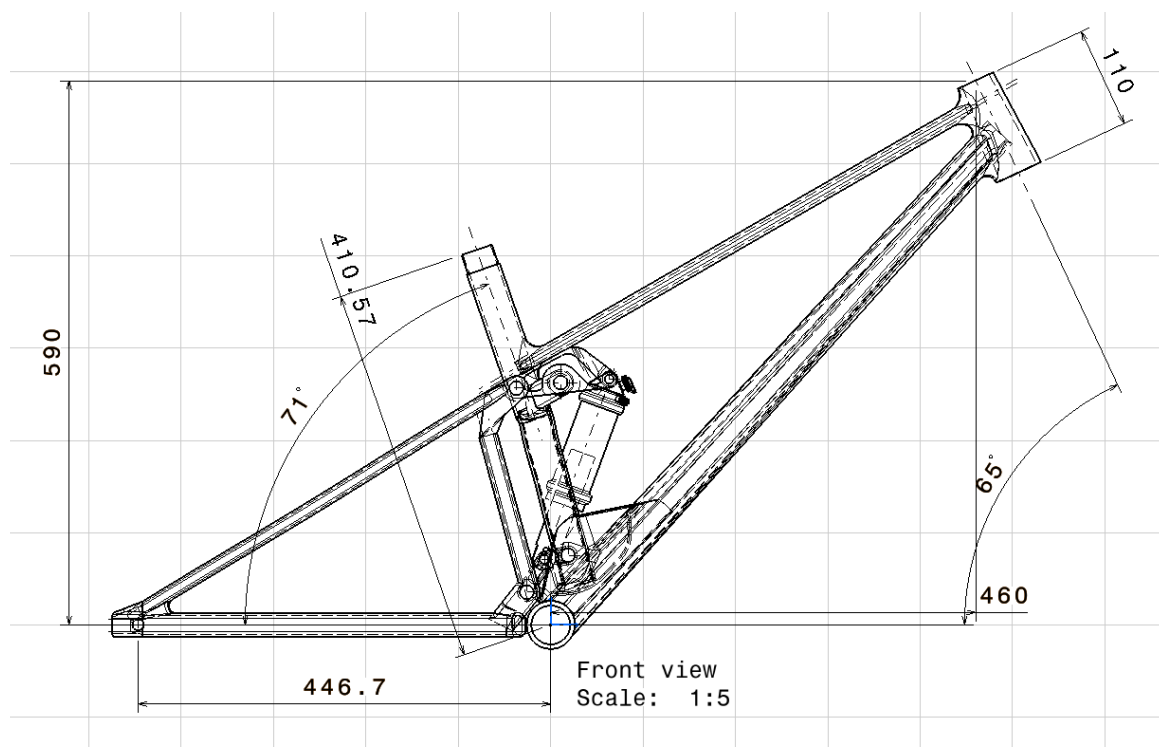


Figura 4.31. Geometría final

4.3. Metodología de cálculo

Es el momento de comenzar con el análisis de nuestro cuadro, este análisis será realizado mediante el software de elementos finitos ANSYS. En concreto vamos a utilizar 2 módulos llamados “Explicit Dynamics” para los ensayos de choque y “Static Structural” para los ensayos de fatiga.

Cabe mencionar que para el ensayo a fatiga no hay duda alguna que el módulo más adecuado para hacer el cálculo sería el “Transient Structural”, en este módulo existen los efectos de la inercia, por ejemplo, en el ensayo de fatiga de fuerzas horizontales cuando ciclas varias veces hacia delante y hacia atrás con unas cargas repetidas, esto crea una inercia que se debería tener en cuenta, además de otros procesos que se tienen en cuenta en el modelo transitorio. Sin embargo, este modelo requiere un alto poder computacional además de una gran cantidad de tiempo para ser llevado a cabo, por lo tanto el cálculo se hará como si el proceso fuera cuasi estático, mediante el módulo “Static Structural”.

Para comenzar el análisis se va explicar con claridad como se ha realizado y creado cada simulación.

Comenzaremos hablando de un aspecto general que involucra a todas que es el punto de los materiales.

Para nuestro cuadro vamos a ensayar con dos materiales el Acero 4130 (Cromoly) Y el Aluminio 6061, este último se ha elegido frente a las otras series de aluminio ya que es el más utilizado hoy día en la manufactura de cuadros..

Para introducir los datos de cada material en ANSYS hemos debido buscar sus propiedades por diferentes referencias para contrastar los datos y dar así el más adecuado.

Los datos recogidos de diversas fuentes están recogidos en la tabla xx , estos datos nos ayudan a prever el comportamiento que obtendremos con cada material.

En el apartado xx hablábamos de las ventajas y desventajas de cada uno, por eso no se volverán a repetir aquí, aún así a la hora de la comparación cuando se tengan los resultados de cada material, será conveniente tener presente las ventajas que aportan cada uno.

	Acero 4130	Aluminio 6061
Densidad (kg/m ³)	7850	2700
Módulo de Young (Mpa)	205000	68900
Resistencia a la fluencia (Mpa)	435	276
Resistencia a la tensión (Mpa)	670	310
Resistencia a la compresión (Mpa)	250	270

Tabla 4.4. Propiedades del acero 4130 y aluminio 6061[50]

Otro elemento que debemos obtener de cada material para que ANSYS nos realice los cálculos correctamente son las curvas S-N de cada material.

Estas curvas como se ha comentado anteriormente se realizan mediante ensayos de ese material a un número determinado de ciclos a una cargas cíclicas determinadas, en nuestra búsqueda de estas curvas nos tendremos que fijar que $R=-1$, es decir, que los ensayos se hayan realizado con cargas a inversión completa.

Se ha realizado una intensa labor de revisión bibliográfica para obtener una curva S-N de cada material. Aún así mayoritariamente se han utilizado unas gráficas de donde la fuente de donde se obtenían eran una fuente confiable, además se han contrastado con más gráficas para verificar los datos obtenidos.

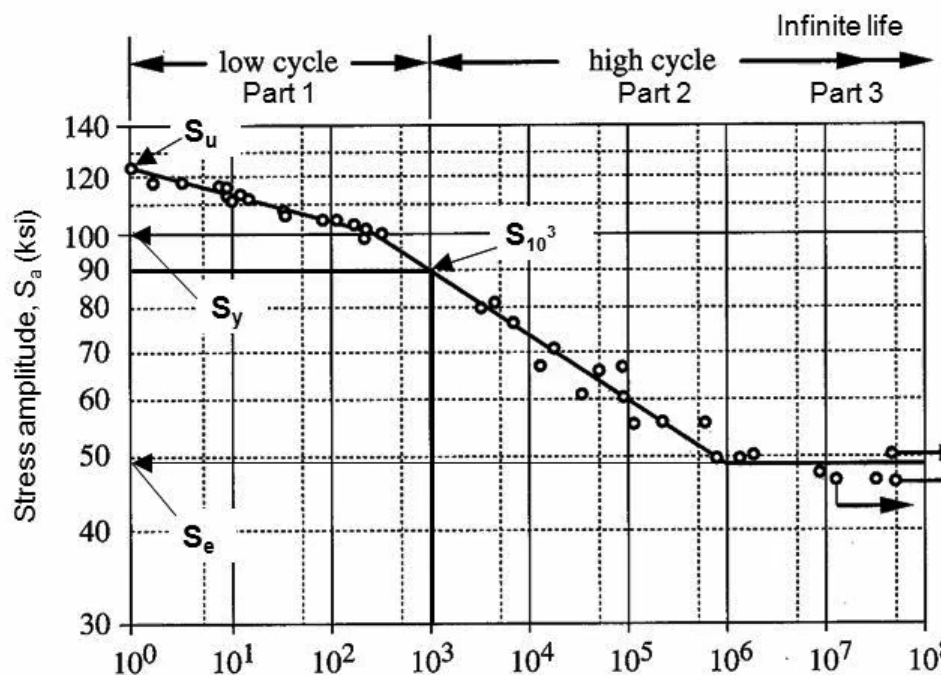


Figura 4.32. Curva SN del acero 4130,, de la Universidad de Waterloo [49]

De estas gráficas la parte que más nos interesa es la recta desde 1000 ciclos hasta 1 millón de ciclos, estos datos serán los que obtendremos y extrapolaremos al programa como datos de nuestro material.

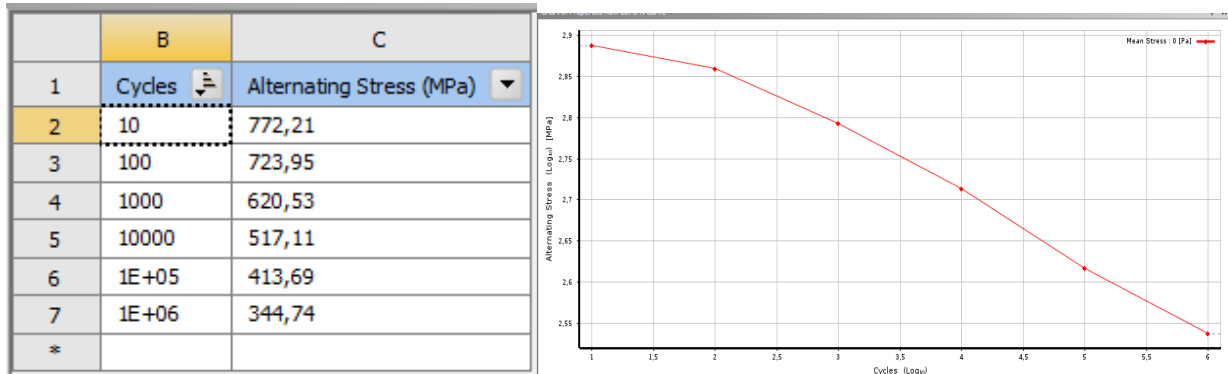


Figura 4.33. Curva SN del acero 4130 introducida en ANSYS [50]

Como podemos comprobar con los datos que obtenemos de cada material el acero posee una gran superioridad ante al aluminio en cuanto a resistencia se refiere, sin embargo, comparando las densidades el aluminio es menos de la mitad de la del acero, con lo que con unos tubos más gruesos podría equipararse al acero en resistencia.

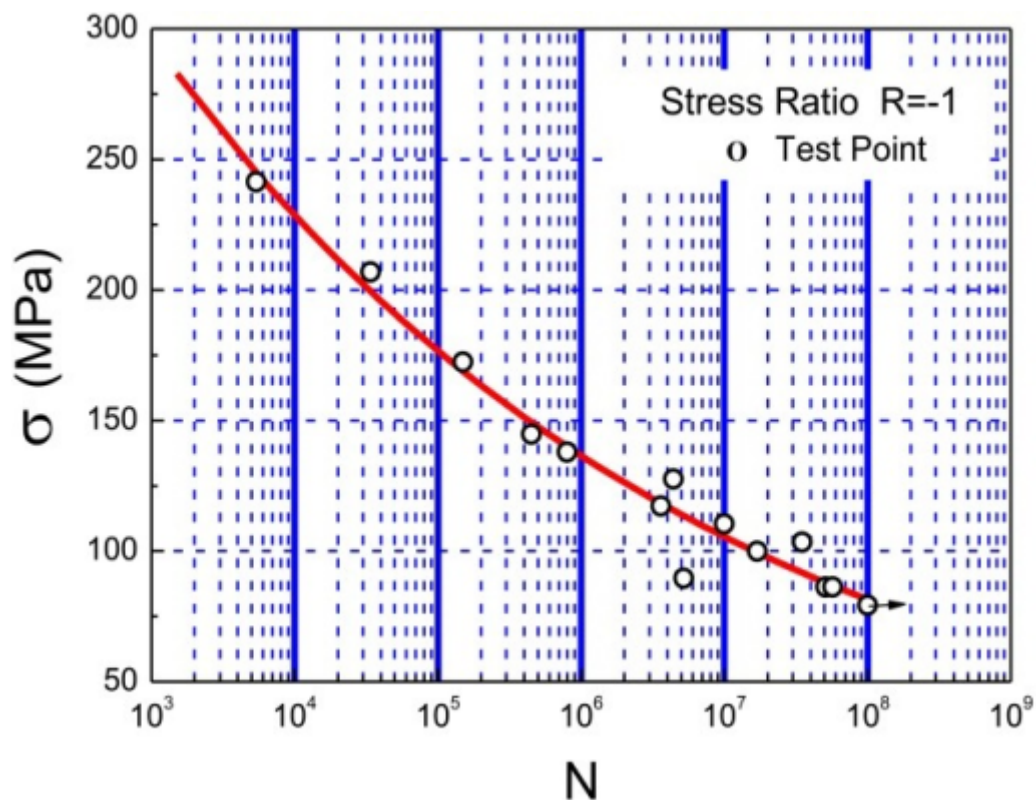


Figura 4.34. Curva SN para el aluminio 6061-T6 [51]

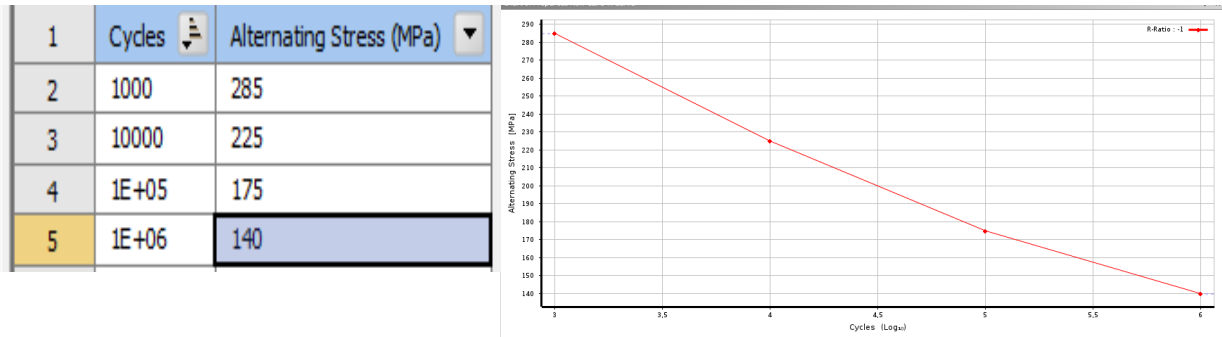


Figura 4.35. Curva SN del aluminio 6061 introducida en ANSYS

Ya mencionadas las propiedades de cada material, podemos continuar paso por paso la preparación de cada ensayo de manera virtual.

4.3.1. Cálculo ensayo de choque (caída de una masa)

Para recrear este ensayo de manera virtual deberemos crear la masa que impactará con la horquilla. La horquilla falta también será modelada por nosotros simulando una horquilla de máxima longitud que puede montar el cuadro de nuestra bicicleta.

La normativa en el apartado anterior nos indica dos aspectos que debe cumplir nuestro percutor, uno de ellos es que su peso sea de 22,5 kg, y el otro que su diámetro sea de 150 mm, sabiendo estos dos datos y la densidad del material del que estará hecho nuestro percutor, en nuestro caso acero, es fácil averiguar la medida que nos falta para diseñar nuestro percutor en CATIA y poder introducirlo posteriormente en ANSYS.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad 1$$

$$\rho = \frac{m}{\frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h}$$

Sabiendo los datos de masa densidad y diámetro podemos despejar la altura.

$$h = \frac{m}{\frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \rho}$$

$$h = \frac{22,5 \text{ kg}}{\frac{\pi \cdot 0,150^2}{4} \cdot 7850} = 0,16219 \text{ m}$$

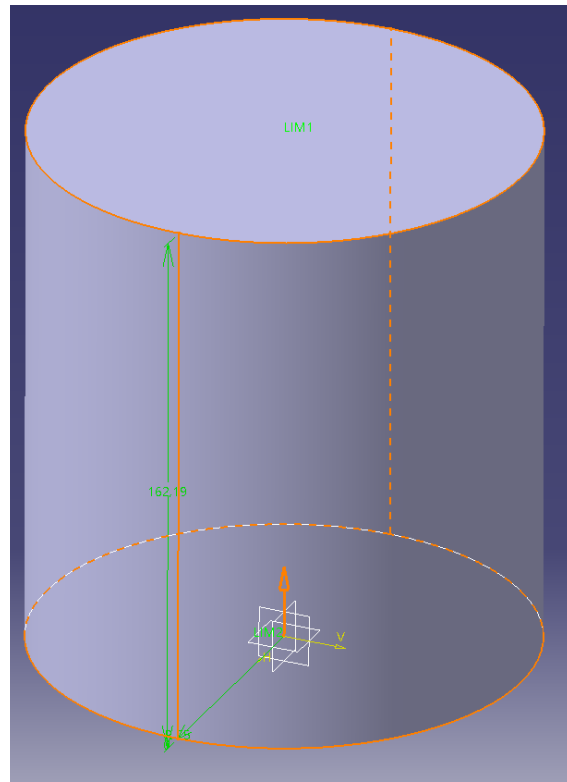


Figura 4.36. Masa de ensayo de choque por caída.

A partir de aquí se van a realizar una serie de procedimientos, que se realizan para cada ensayo, es decir, son unos procedimientos generales.

Para comenzar elegiremos el tipo de material que vamos a ensayar de nuestro cuadro, en este caso o aluminio o acero, seguidamente, los materiales de las piezas restantes, en este caso la horquilla la normativa exige que sea más rígida que la que se montaría en la realidad y si es posible que esta sea más rígida que el cuadro a ensayar, esto es para que toda la fuerza sea transmitida al cuadro, haciendo que las desplazamientos de la horquilla sean mínimas.

Ya asignados los materiales de nuestros elementos continuamos con el apartado “connections” en este apartado debemos procurar borrar la zonas que no queremos que estén en contacto, por ejemplo, la masa de ensayo con el rodillo de la horquilla



Figura 4.37. Montaje del ensayo de choque por caída de masa.

A continuación, debemos crear la malla de nuestro sistema, cuanto mejor refinada este la malla más precisos serán los resultados que obtengamos, es por eso que aquí debemos perder un leve tiempo ajustandola, normalmente se puede ajustar haciendo el tamaño del mallado más pequeño, aún así hay más opciones para hacerla más precisa.

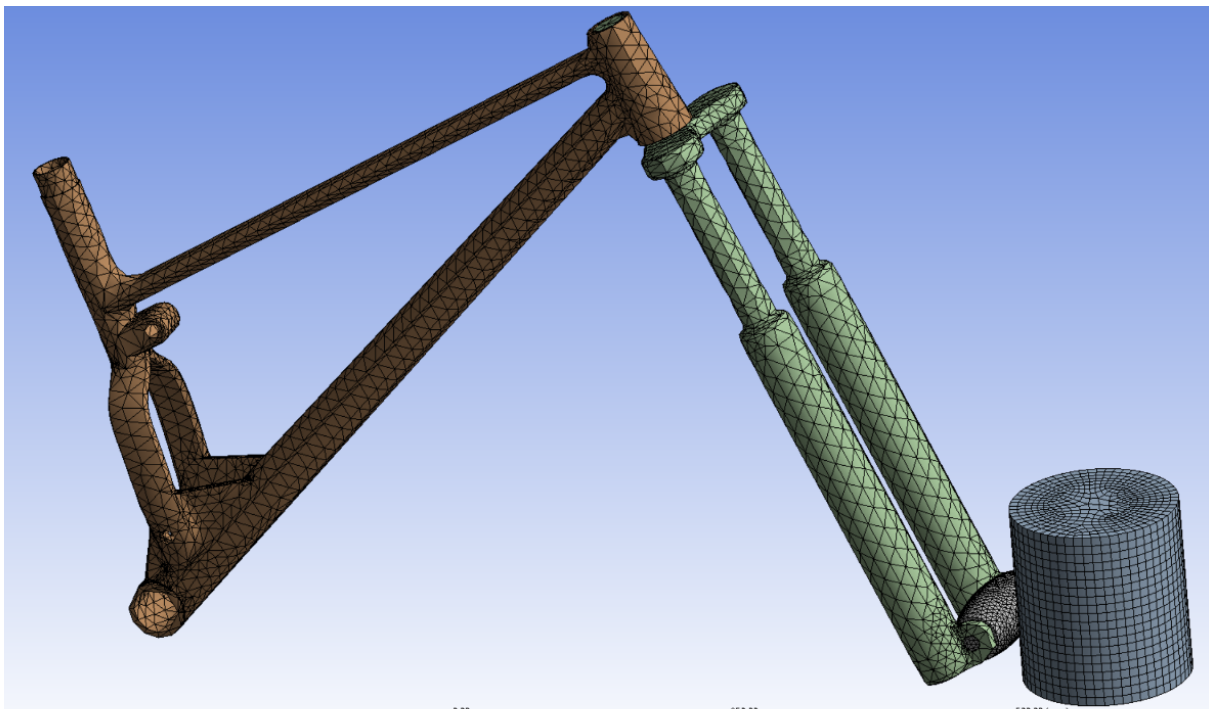


Figura 4.38. Mallado de la ensayo de choque por caída de una masa

Cabe mencionar que el ensamblaje se ha simplificado en este ensayo. En concreto se ha suprimido el cuadro trasero ya que este sufrirá un desplazamiento despreciable

Ahora comenzaremos a hablar del apartado más importante del ensayo “Analysis Settings” a partir de este punto para cada ensayo habrá una variación ya que cada uno tendrá sus apoyos fijos, y sus fuerzas.

En este caso nuestro apoyo fijo se encontrará en la caja pedalier, y nuestra fuerza será la que provoque la velocidad que le impongamos nuestra masa para el impacto.

En la normativa nos indica que la masa debe de caer desde unos 350 mm la velocidad justo antes del impacto es fácil de calcular mediante la ecuación[] no obstante el software nos provee de una herramienta llamada “drop test” que calcula la velocidad colocando la altura de forma inmediata.

$$v = \sqrt{2gh} \quad 2$$
$$v = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,350} = 2,620 \text{ m/s}$$

Uno de los factores más importantes de nuestro análisis es el tiempo en el que se va estar realizando la simulación, debe ser un tiempo suficiente como para que todas las tensiones tengan tiempo para viajar por todo nuestro cuadro, pero tampoco demasiado elevado ya que consumirá muchos recursos de nuestro ordenador además de tiempo.

El tiempo que va a estar simulando nuestro sistema básicamente se calcula iterando, es decir, al principio poner un tiempo aproximado y en la solución ver si todas las tensiones provocadas por el impacto han viajado por el cuadro.

Hay otra manera de asegurarnos que las tensiones viajan por todo nuestro cuadro, esta manera es calculando la velocidad de propagación de las ondas de tensión “stress wave propagation velocity” esta velocidad se calcula mediante la ecuación [] donde hallamos la velocidad con la que las ondas de tensión se propagaron en nuestro material, seguidamente después de hallar esta velocidad debemos ver el elemento más pequeño de nuestra malla, luego dividiremos este entre la velocidad obteniendo un tiempo, este tiempo, debemos insertarlo en “Minimum Time Step” así nos aseguraremos de que el programa recorra todos los elementos del cuadro.

$$v_p = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

La velocidad de propagación de nuestro acero sería:

$$v_p = \sqrt{\frac{205 \cdot 10^9}{7850}} = 5110,24 \text{ m/s}$$

Con todo estos factores descritos solo cabe mencionar que en el caso de los impactos dividiremos los “time step” en 2 sucesos, el primer suceso será en el momento que no se produce ninguna desplazamiento, es decir, en el momento que el objeto está recorriendo el espacio que hay entre el mismo y la horquilla donde se produce el impacto. Justo cuando se produce el impacto comenzará el segundo suceso donde los desplazamientos y los desplazamientos de nuestro cuadro empiezan a suceder y viajan por todo el material.

4.3.2. Cálculo ensayo de choque (caída del cuadro)

En este ensayo se va realizar la caída del cuadro sobre un yunque según la normativa, nosotros recrearemos este yunque con una lámina plana de acero de cierto espesor para que tenga una gran rigidez y sea poco deformable. En este caso respecto al anterior si incluimos el cuadro trasero ya que este será el punto de apoyo de la bicicleta a la hora de este ensayo. Otro factor que tiene este ensayo es las masas que están distribuidas por diversos puntos del cuadro (ver apartado), estas masas como nos exige la normativa se colocarán en el tubo del sillín, en la caja del pedalier y encima de el tubo de la dirección, todas ellas con su correspondiente peso que indica la normativa. Hay dos maneras de incluir las masas, la primera es al igual que el apartado anterior hallarlas mediante la ecuación [1] y de ahí realizar una pieza en catia con esas dimensiones, la otra manera y por la que se ha optado es por añadir unas fuerzas equivalentes al peso de cada masa en los puntos indicados por la normativa.

Al ahorrarnos esas masas le quitamos carga de trabajo al programa por lo que será más rápido y con resultados más precisos.

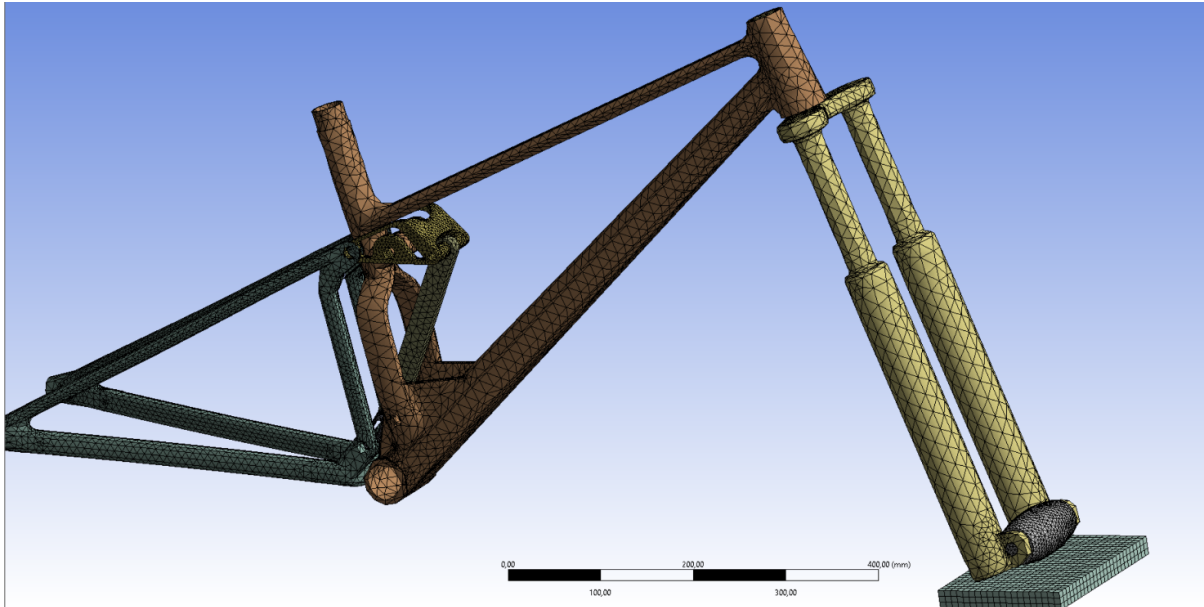


Figura 4.39. Mallado del ensayo de choque por caída del cuadro.

En cuanto al “time-step” se calculará de igual manera que el apartado anterior, siempre atendiendo a la limitación de cálculo computacional que tenemos con el ordenador de que disponemos.

En este caso la altura de caída es de 300 mm, lo podemos volver a calcular mediante la ecuación [2] o como se ha dicho anteriormente dejar al programa que lo calcule.

Una vez realizados y puesto en orden estos parámetros está listo el cuadro para ser ensayado.

4.3.3. Cálculo de ensayo de fatiga con fuerzas de pedaleo

Para comenzar a preparar este ensayo hay que seguir los mismos puntos que en apartados anteriores hasta que llegamos al punto de “Analysis Settings” donde aquí encontraremos una variación, ya que al ser un módulo distinto al anterior hay que configurar otra serie de parámetros que se mencionan a continuación.

En este ensayo debemos incluir un adaptador como expone la normativa (ver figura 3.25), para poder aplicar en dicho adaptador las fuerzas cíclicas. Para diseñar este adaptador nos ayudaremos del plano adjuntado en la normativa.

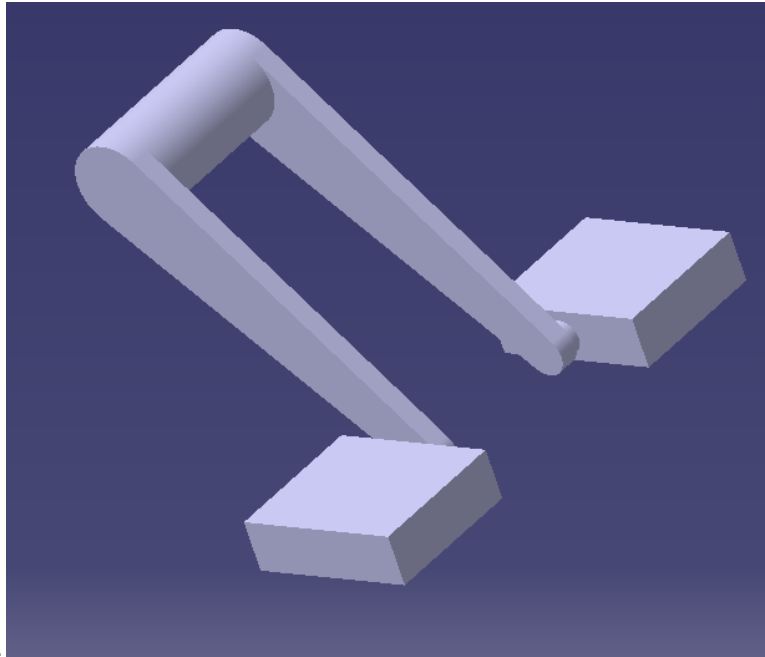


Figura 4.40. Adaptador ensayo de fatiga con fuerzas de pedaleo

Ahora con el adaptador ya montado procedemos a configurar el “Analysis Settings” indicando las condiciones de contorno y la magnitud de las fuerzas que van a ejercer sobre el adaptador, en cuanto a las condiciones de contorno haremos apoyos fijos la pipa de la dirección y el hueco del eje pasante del cuadro trasero.

En cuanto a soluciones en este apartado, a parte de las desplazamientos y las tensiones de von mises, podemos estudiar más aspectos y soluciones del cuadro.

Estas soluciones las obtendremos mediante el criterio de Goodman ya que es el más extendido, entre estas soluciones obtendremos los ciclos que soportará nuestro cuadro, el factor de seguridad, el daño acumulado y la tensión alternante equivalente. Como se puede ver en la figura 3.41 obviamente se podría haber escogido cualquier otro criterio como el de Soderberg que tiene más en cuenta el límite de fluencia, pero no obstante el más adecuado para este tipo de ensayos es el criterio de Goodman

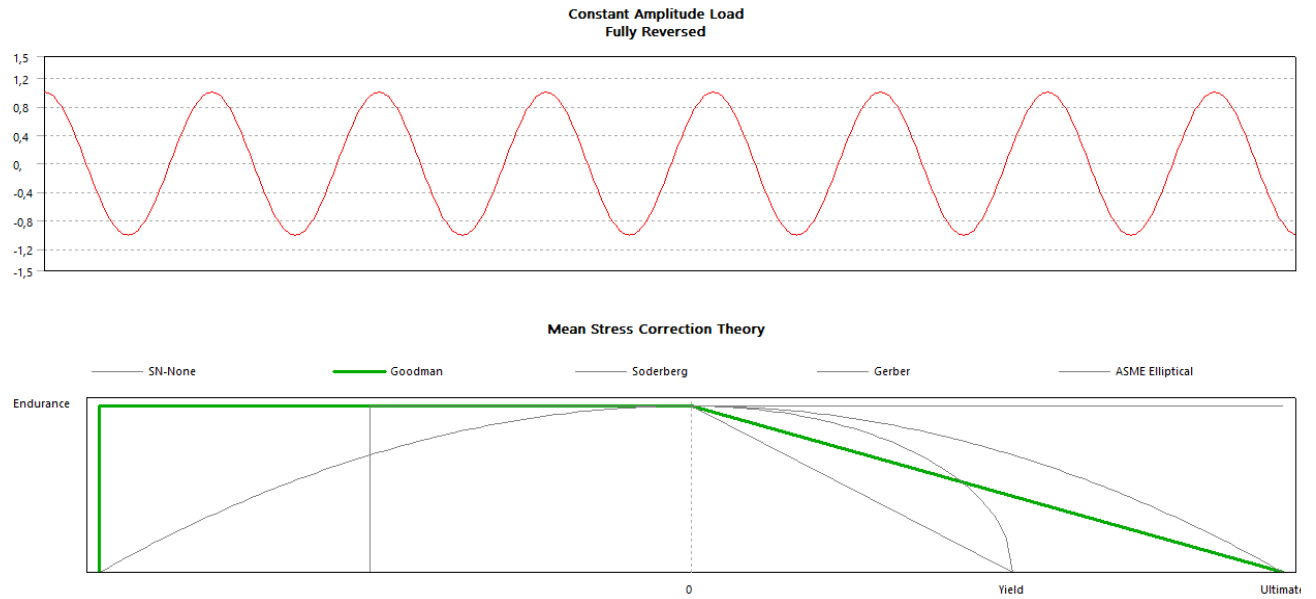


Figura 4.41. Criterio de fatiga por Goodman

Se configurarán las cargas con inversión completa, es decir, aplicación de una carga senoidal positiva y negativa de mismo valor absoluto, siendo la carga media de 0 N, si recordamos en apartados anteriores, los diagramas S-N que se encontraron son diagramas conseguidos con cargas a inversión completa, el programa básicamente lo realiza es una comparación de los dos diagramas, por eso debemos indicarle que las cargas sean de dicha manera.

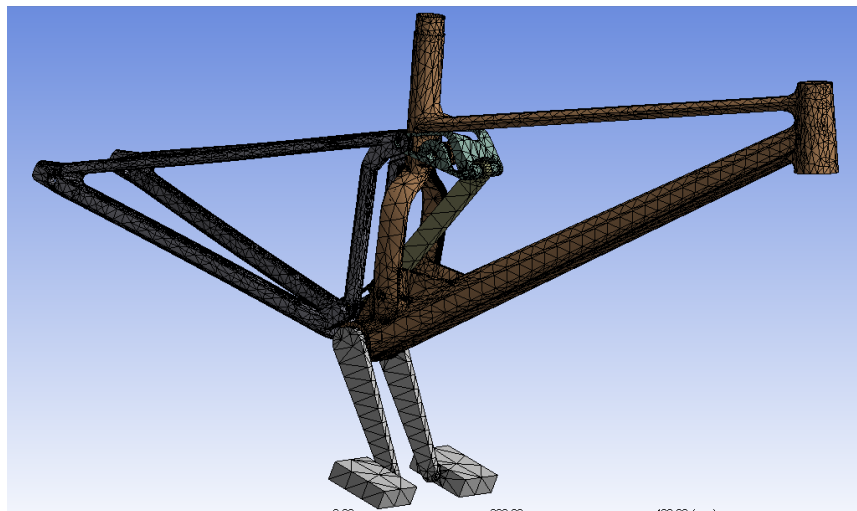


Figura 4.42. Mallado del ensayo de fatiga por fuerzas del pedaleo

4.3.4. Cálculo ensayo de fatiga por fuerzas horizontales

En este ensayo el procedimiento es muy similar al anterior, en este no es necesario el uso de un adaptador solo el cuadro al completo con la horquilla falsa.

La única variación que tendremos es la aplicación de la fuerzas en la horquilla tenemos dos fuerzas una que empuja al cuadro y otra que lo comprime, para realizar esto de manera virtual lo haremos en 4 pasos donde primero se aplicará la fuerza de 1200N hacia el sentido positivo de Y, en el siguiente paso hará lo contrario se aplicará la fuerza de 600 N hacia el sentido negativo de Y, los siguientes dos pasos serán una duplicación de estos entonces el programa entenderá que son unas cargas alternantes cíclicas entre 1200N y 600N como exige la normativa.

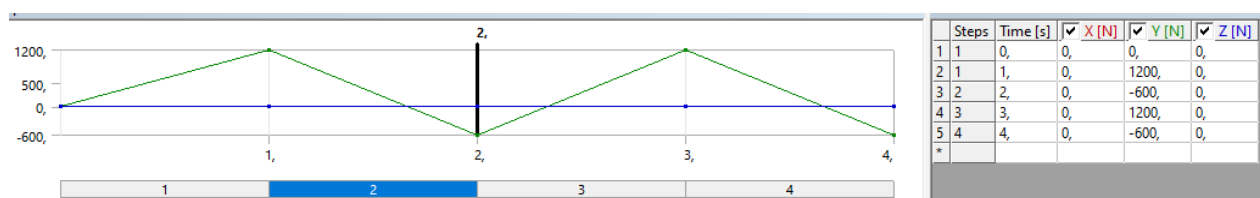


Figura 4.43. Cargas cíclicas del ensayo de fatiga por fuerzas horizontales

4.3.5. Cálculo ensayo de fatiga con una fuerza vertical

En este ensayo si será necesario el uso de un adaptador, este adaptador lo recrearemos mediante el plano que nos adjunta la normativa, siguiendo cada indicación, en cuanto a la aplicación de la carga poco se diferencia del ensayo de fatiga con fuerzas del pedaleo, básicamente se deben realizar los mismos pasos.

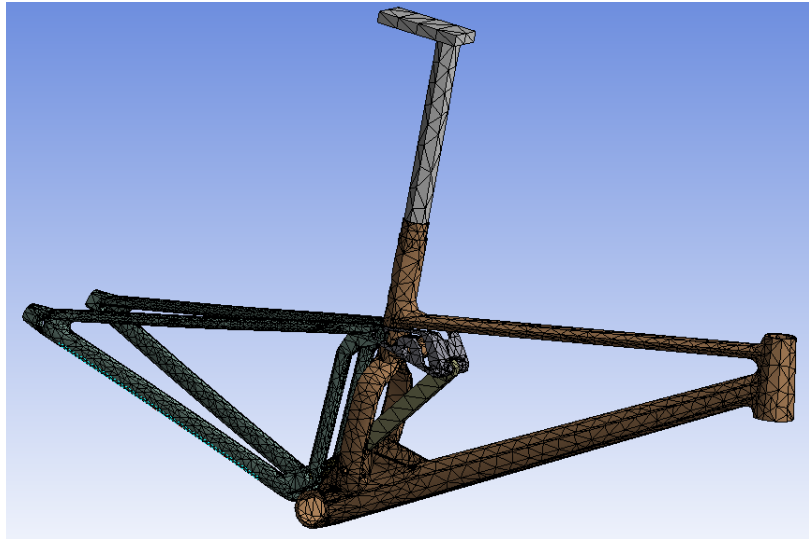


Figura 4.44. Mallado del ensayo de fatiga con fuerza vertical

5. Resultados

5.1. Resultados de la primera iteración

Ya teniendo las simulaciones preparadas podemos empezar a realizar los ensayos.

Para una primera iteración obtenemos por ensayar el cuadro de aluminio, ya que a priori sería el material más débil, así averiguaremos si algún punto de nuestro conjunto de piezas falla.

Para comenzar hablemos del peso que hemos obtenido con el Aluminio 6061, el peso de cada elemento podemos observar lo en ANSYS en geometría, propiedades, sumando todos los pesos de los elementos que forman nuestro cuadro el peso ha sido de 3,5824 kg.

Comparando el peso con otros cuadros del mercado, es un peso bastante competitivo, por ejemplo, comparándola con la bicicleta Commencal Meta de Aluminio 6066 de este año está en 3,7 kg.

Es cierto que nuestro cuadro no incorpora elementos como los rodamientos y la patilla de cambio, peso son elementos que sumarán pocos gramos más con lo cual seguiríamos en un peso parecido al de la competencia.

En cuanto a los requisitos de seguridad que impone la norma, nosotros incorporaremos además de estos, otros adicionales por criterio del diseñador, ya que los que pone la norma se quedan escuetos y muy generales.

Uno de los requisitos que incorporaremos es una tensión admisible, por encima de esta tensión diremos que el cuadro falla, por lo tanto deberíamos rediseñar.

Está la hallaremos con un factor de seguridad de 1,5, mediante la siguiente ecuación

$$\sigma_{adm} = \frac{S_y}{n}$$
$$\sigma_{adm} = \frac{276 \text{ Mpa}}{1,5} = 184 \text{ Mpa}$$

Esta será nuestra tensión admisible por encima de esta consideraremos que el cuadro falla.

5.1.1. Ensayo de choque (caída de una masa) (Primera iteración)

Comenzando por la primera iteración mostraremos los resultados de ella en la tabla 5.1 y posteriormente indicaremos cómo se han extraído además de analizarlos.

IMPACTO	Ensayo 1	Limites	Unidades
Desplazamiento total	2,635	10	mm
Desplazamiento en X	0,35524	10	mm
Desplazamiento en Y	0,75687	10	mm
Desplazamiento en Z	2,2656	10	mm
Tensión equivalente	189,83	184	Mpa

Tabla 5.1. Resultados del ensayo de choque (caída de una masa)(primera iteración).

Antes de comenzar a extraer los datos tenemos que ver en qué punto del tiempo que ha sido analizado nuestro cuadro se ha producido la mayor desplazamiento, esto podemos averiguarlo mediante la gráfica de tiempo

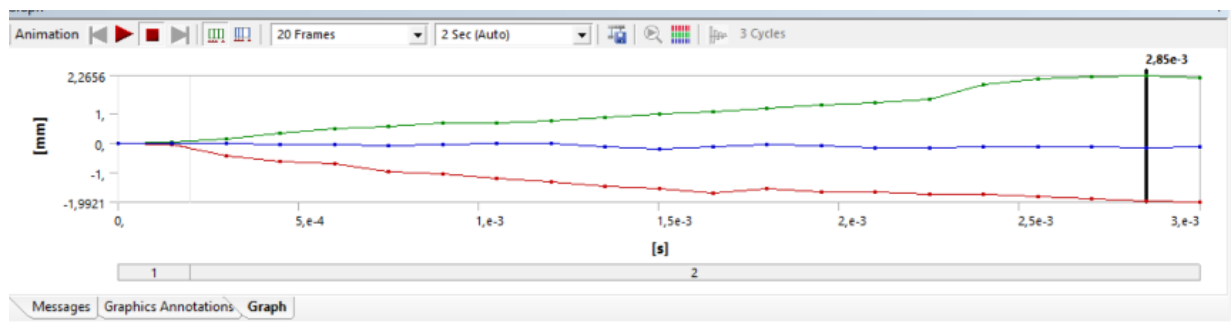


Figura 5.1. Grafica de tiempo de desplazamiento en "Z" ensayo de choque (caída de masa)(primera iteración)

Por ejemplo en esta desplazamiento en "Z" la máxima desplazamiento se produce en el instante $2,85 \cdot 10^{-3} s$, luego de este punto será de donde debemos extraer los datos.

Aún así, es conveniente de examinar cada instante que nos muestra la gráfica para ver cómo evolucionan las desplazamientos respecto al tiempo

El desplazamiento total que ha sufrido nuestro cuadro sin duda es un aspecto importante, pero sin embargo a efectos prácticos no sabemos en qué dirección se ha producido la desplazamiento por lo que, para nuestro estudio carece de una información esencial que es hacia donde se deforma el cuadro.

La próxima desplazamiento en el eje X, dado que el impacto ha sido en el eje Y apenas sufrimos desplazamiento en el eje X, ya que 0,35mm no es una desplazamiento a considerar y está dentro de los requisitos que exige la normativa.

El desplazamiento en el eje Y es sin embargo un aspecto donde debemos prestar más atención ya que la normativa exige que no se sobrepasen los 10 mm entre ejes.

En cuanto al cuadro la desplazamiento ha sido inferior a 1 mm como muestra la tabla 5.1 , por lo que no es un dato preocupante, aunque no es un objeto de estudio veremos cuanta desplazamiento se ha provocado en la punteras de la horquilla y si sobrepasará esos 10 mm que exige la normativa.

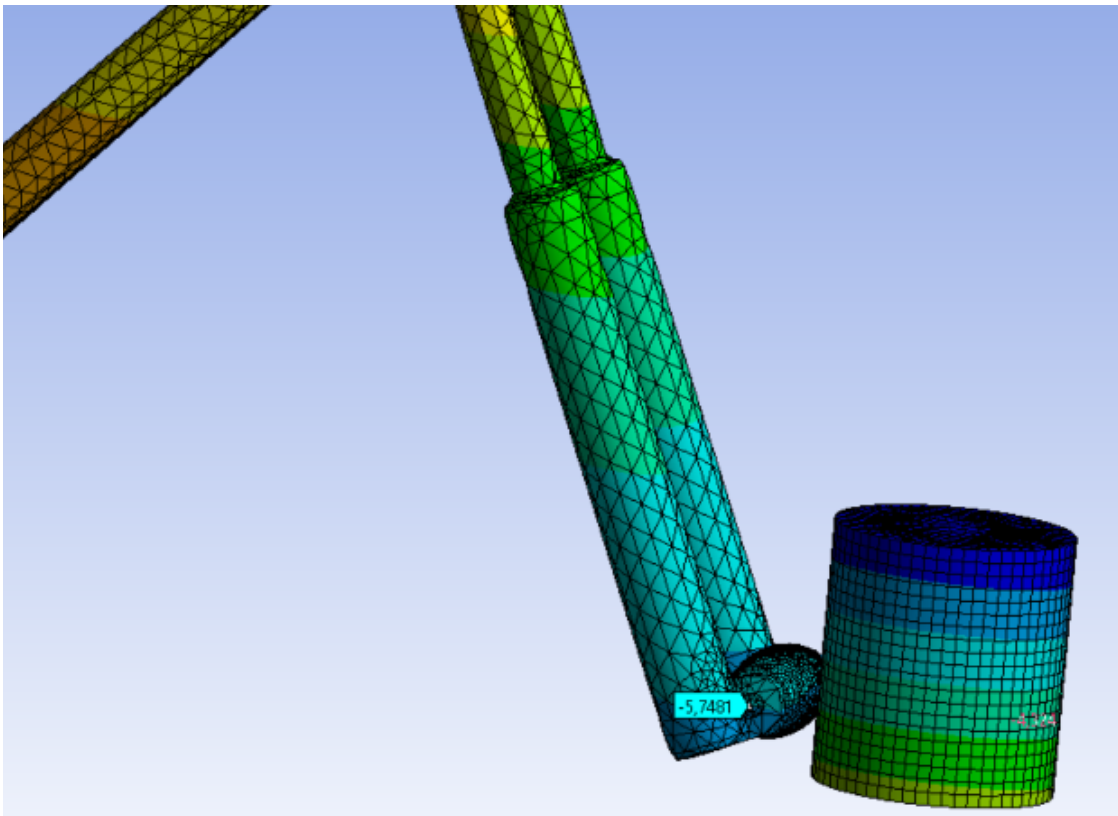


Figura 5.2. Desplazamiento en Y puntera de la horquilla ensayo de choque (caída de masa)(primera iteración)

Como podemos observar en la figura 5.2 la desplazamiento no es superior a -5,7481 mm, con lo cual no supera los 10 mm que exige la norma por lo que estaríamos dentro de los requisitos de seguridad.

Respecto a la desplazamiento en "Z" hemos obtenido un resultado algo más preocupante, el desplazamiento es superior a 2 mm en el tubo superior. Eso no quiere decir que por ahí sea

un punto que pueda fallar el cuadro, ya que este estaba diseñado para que el tubo inferior fuese más rígido y el superior más flexible para absorber, las irregularidades del terreno, aún así, si este desplazamiento se ha llevado a cabo significa que el tubo inferior está recibiendo una tensión elevada.

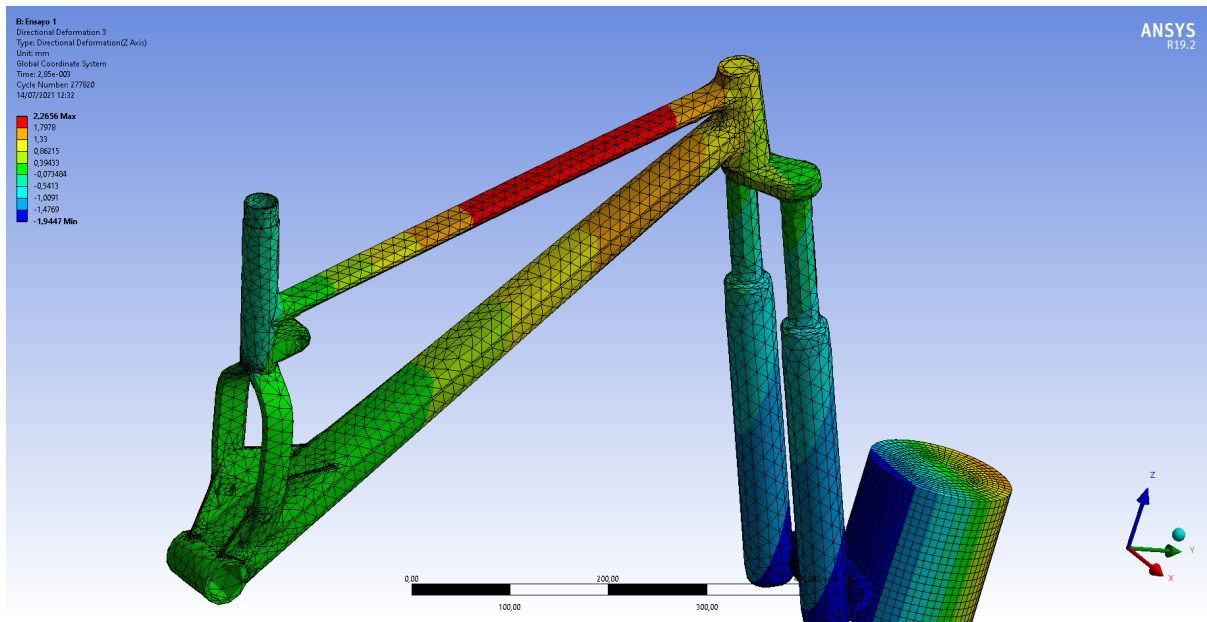


Figura 5.3. Desplazamiento en Z ensayo de choque (caída de masa)(primera iteración)

En cuanto a la tensión podemos ver que la tensión que experimenta el tubo inferior es mayor que la tensión admisible que nosotros hemos considerado ($189,83 > 184$), por lo tal el cuadro fallaría en ese punto figura 5.4, con lo cual deberemos rediseñar el tubo inferior para amainar la tensión en ese punto.

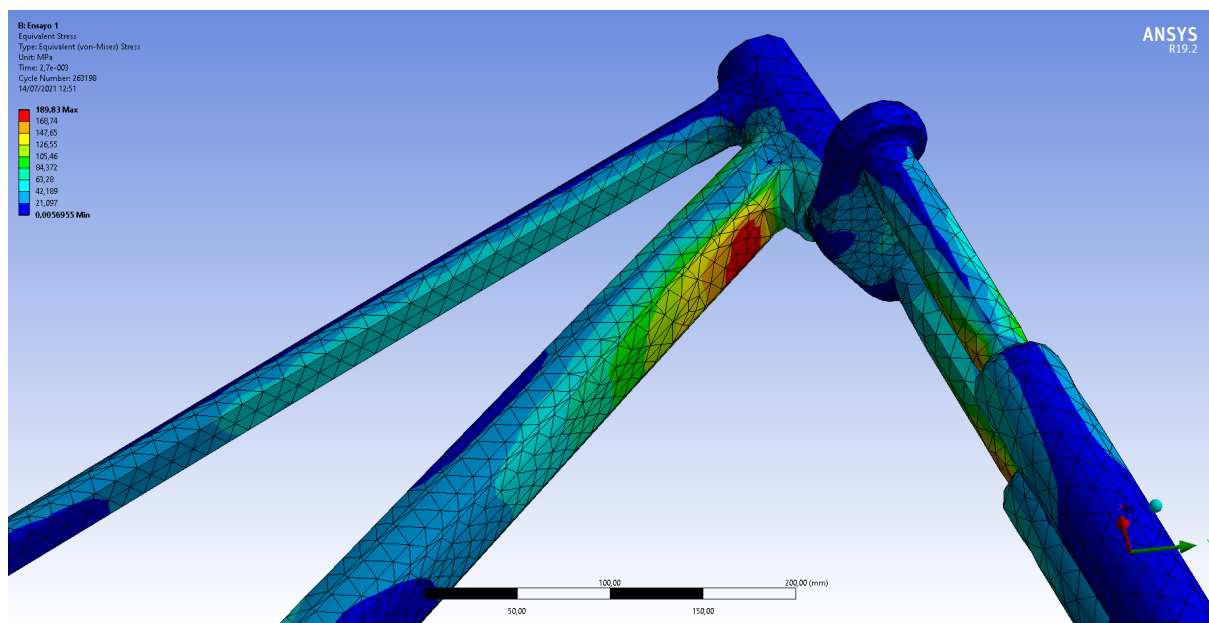


Figura 5.4. Tensiones ensayo de choque (caída de masa)(primera iteración)

Esa tensión elevada en ese punto en concreto puede ser debida al radio de curvatura que hay entre la unión del tubo superior con la pipa de la dirección. Existe un concentrador de tensión al tener un cambio importante en la geometría. Para reducirlo es necesario hacer radios de acuerdo más progresivos, sin cambios abruptos.

5.1.2. Ensayo de choque (caída del cuadro)(Primera iteración)

A continuación se mostrarán en la tabla 5.2 los resultados del segundo ensayo de impacto.

IMPACTO	Ensayo 2	Limites	Unidades
Desplazamiento total	0,235	10	mm
Desplazamiento en X	0,00256	10	mm
Desplazamiento en Y	0,148	10	mm
Desplazamiento en Z	0,065166	10	mm
Tensión equivalente	115,79	184	Mpa

Tabla 5.2. Resultados ensayo de choque (caída del cuadro)(primera iteración)

En cuanto a los resultados de este segundo ensayo podemos comprobar que no son unos resultados preocupantes, ya que prácticamente ningún desplazamiento supera los 0,2 mm. La tensión es muy por debajo de la tensión admisible, sin embargo es preocupante en el punto donde esta se encuentra, como se puede ver en la siguiente figura 5.5 la tensión se encuentra en la unión inferior en concreto donde se une con el cuadro principal, la tensión se concentra en ese punto ya que tenemos el alojamiento para incluir el rodamiento. Es de preocupación este punto ya que debido al ensayo ese punto no debería recibir tanta tensión, ya que el objetivo de dicho ensayo no es probar las uniones con el cuadro trasero sino más bien la unión de los tubos con el tubo de la dirección, aún así los siguientes ensayos a fatiga que toman ese punto más en consideración aclaran si es un punto a rediseñar o no.

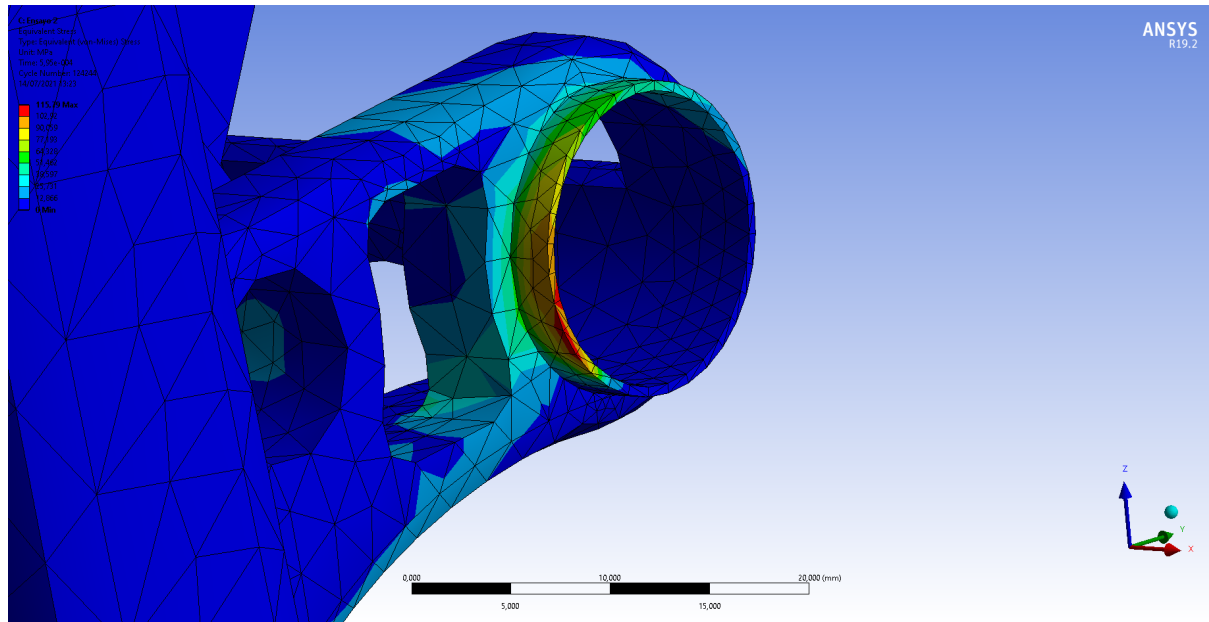


Figura 5.5. Concentrador de tensión en la unión inferior del cuadro ensayo de choque por caída del cuadro

5.1.3. Ensayo de fatiga con fuerzas de pedaleo (primera iteración)

Empezando con los ensayos de fatiga el primero es el realizado por las fuerzas del pedaleo, este como vimos en el apartado de normativa somete al adaptador con forma de bielas y pedales a una carga cíclica sobre todo para comprobar la resistencia de la caja del pedalier. En la tabla 5.3 podemos observar los resultados obtenidos de este ensayo.

FATIGA	Ensayo 3	Limites	Unidades
Desplazamiento total	0,43	10	mm
Desplazamiento en X	0	10	mm
Desplazamiento en Y	0,26514	10	mm
Desplazamiento en Z	0,039571	10	mm
Tensión equivalente	228,11	184	Mpa
Ciclos	8876	100000	ciclos
Factor de seguridad	0,74652	1,5	
Tensión equivalente alternante	228,11	184	Mpa

Tabla 5.3. Resultados ensayo fatiga con fuerzas del pedaleo

Como podemos observar los desplazamientos obtenidos en este ensayo son insignificantes por lo que son puntos que podemos obviar.

Sin embargo la tensión vuelve a ser mayor que la admisible propuesta por nuestro criterio, además de que el factor de seguridad es menor que 1 y con lo cual esto lleva a que nuestro elemento no llegue a vida infinita solo soportando 8876 ciclos en este ensayo. Además de incumplir el requisito de la normativa de que nuestro cuadro al completo debe superar los 100.000 ciclos, este elemento fallaría también por tener la tensión más elevada que la admisible. El punto se vuelve a encontrar en el concentrador de tensiones que tiene la unión inferior. Esto es debido también a lo delgado que es ese elemento teniendo solo un espesor de 0,5 mm

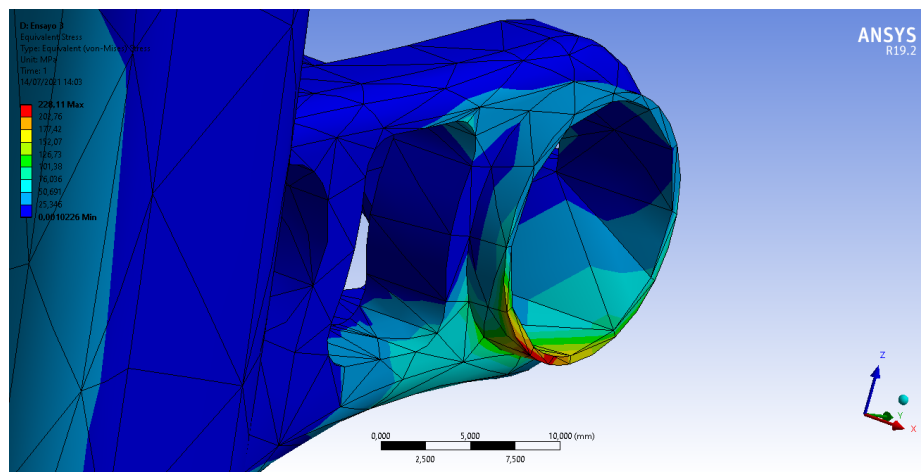


Figura 5.6. Concentrador de tensiones ensayo de fatiga por fuerzas del pedaleo

5.1.4. Ensayo de fatiga por fuerzas horizontales. (Primera iteración)

Continuando por los ensayos de fatiga continuamos por el de fuerzas horizontales donde los resultados se expondrán en la tabla 5.4.

FATIGA	Ensayo 4	Limites	Unidades
Desplazamiento total	0,74473	10	mm
Desplazamiento en X	0	10	mm
Desplazamiento en Y	0,3079	10	mm
Desplazamiento en Z	0,38097	10	mm
Tensión equivalente	125,59	184	Mpa
Ciclos	1000000	100000	ciclos
Factor de seguridad	2,25	1,5	
Tensión equivalente alternante	125,59	184	Mpa

Tabla 5.4. Resultados ensayo de fatiga por fuerzas horizontales (Primera iteración)

En cuanto a este ensayo se debe decir que cumple todos los requisitos holgadamente. Como era de esperar las tensiones se han concentrado en el tubo de la dirección justo donde se une con la horquilla

Por lo demás las demás desplazamientos que ocurren en nuestro cuadro son insignificantes.

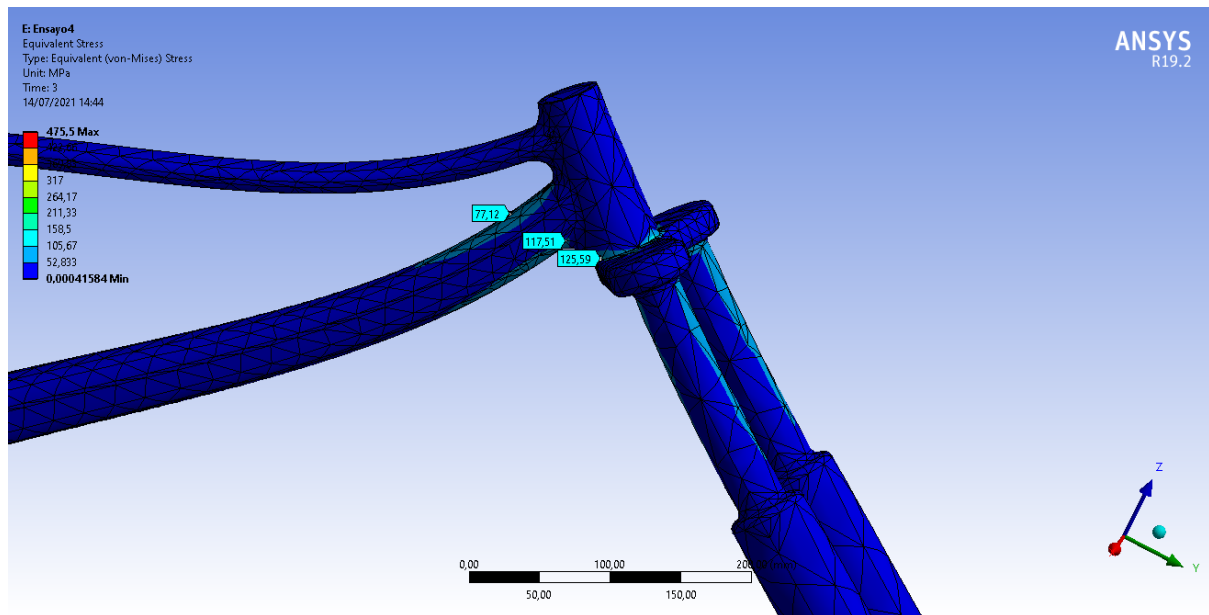


Figura 5.7. Tensiones ensayo de de fatiga por fuerzas horizontales (primera iteración)

5.1.5. Ensayo de fatiga con una fuerza vertical (Primera iteración)

Acabando los ensayos tenemos el de fatiga con fuerza vertical, en este el resultado ha sido similar al anterior exponiendo de nuevo el concentrador de tensiones que se encuentra en la unión inferior del cuadro principal con el trasero.

FATIGA	Ensayo 5	Limites	Unidades
Desplazamiento total	0,9419	10	mm
Desplazamiento en X	0	10	mm
Desplazamiento en Y	0,26937	10	mm
Desplazamiento en Z	0,05077	10	mm
Tensión equivalente	169,45	184	Mpa
Ciclos	144110	100000	ciclos
Factor de seguridad	0,82623	1,5	
Tensión equivalente alternante	169,45	184	Mpa

Tabla 5.5. Resultados ensayo de fatiga con fuerza vertical (primera iteración)

Por lo demás las tensiones se han repartido por todo el tubo de la tija del sillín sin dar picos demasiado elevados, y las desplazamientos prácticamente despreciables.

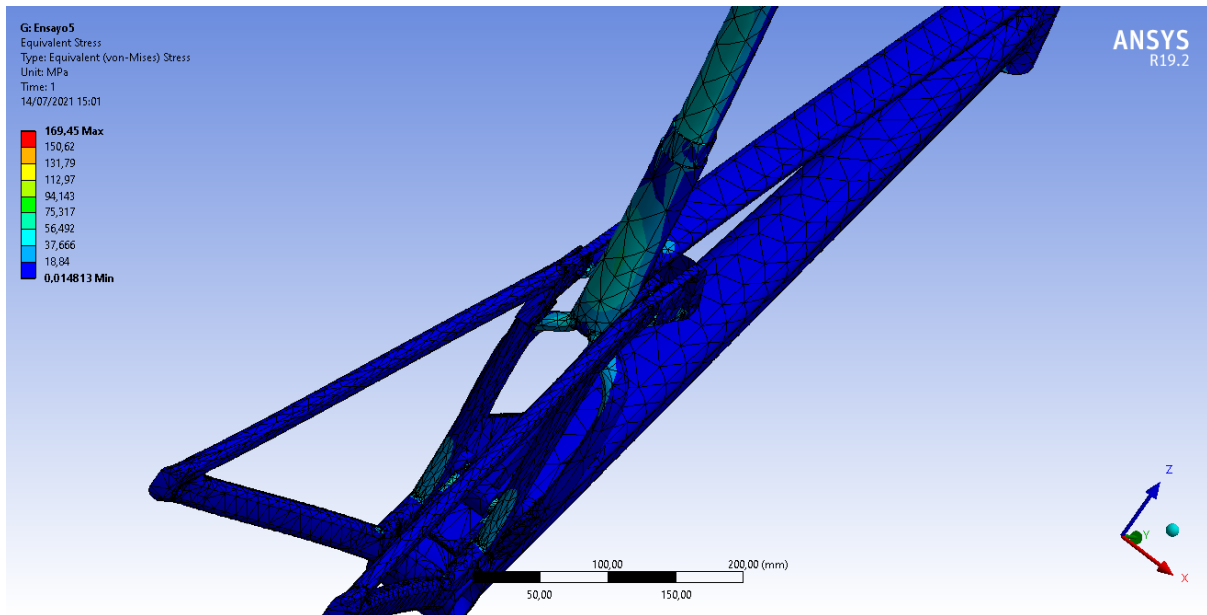


Figura 5.8. Tensiones distribuidas por el tubo del sillín ensayo de fatiga fuerza por vertical.

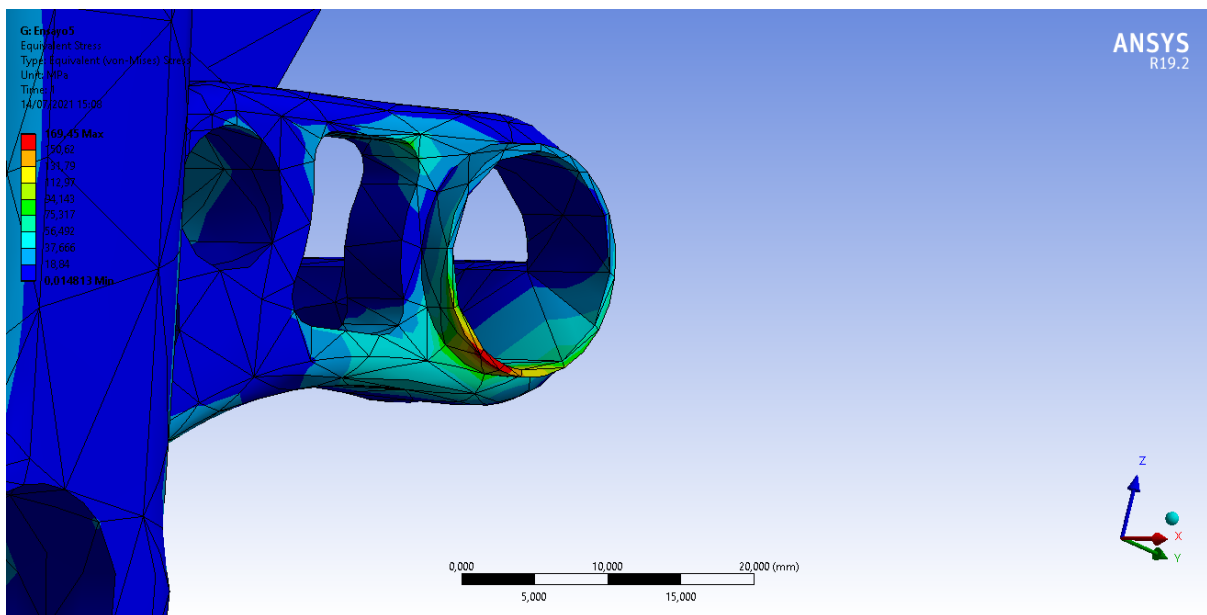


Figura 5.9. Concentrador de tensiones en ensayo de fatiga por fuerza vertical

5.1.6. Conclusión de la primera iteración.

En general, salvo en el primer ensayo, el cuadro principal cumple los requisitos de seguridad, lo único que se debe rediseñar es el concentrador de la unión del tubo inferior con el tubo de la dirección

El objeto que sin duda debe ser rediseñado es la unión inferior del cuadro principal con el trasero, ya que en la mayoría de los ensayos no cumple con los requisitos para que el cuadro sea seguro.

5.2. Rediseño

El cuadro principal ha superado el límite admisible por poco. ($189 > 184$). De hecho, si con nuestro propio criterio hubiésemos considerado un coeficiente de seguridad de 1,4, el cuadro no fallaría. Aún así para solventar este problema se va a aumentar el radio de acuerdo que hay entre el tubo inferior del cuadro y el tubo de la dirección

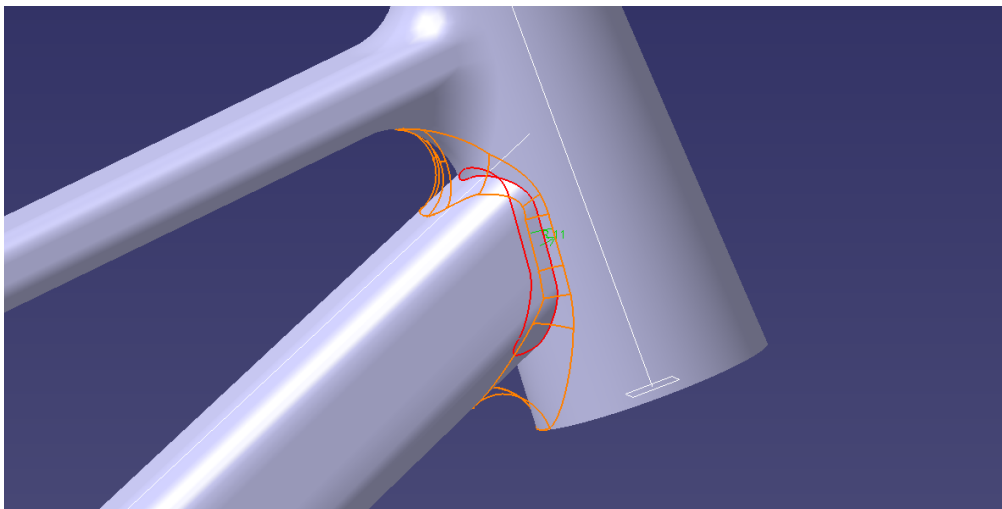


Figura 5.10. Rediseño del cuadro principal

El radio de acuerdo entre el tubo inferior y la pipa de la dirección se ha aumentado un 10% es decir de 10 mm ha pasado a tener un radio de acuerdo de 11 mm, si se quisiera aumentar más este radio de acuerdo habría que hacer cambios en la geometría del cuadro.

En cuanto a la unión inferior es un elemento que hay que prestar más atención ya que, en varios ensayos ha sido el protagonista obteniendo los peores resultados debido, al hueco

donde se alojaría el rodamiento esta rebaba que sobresale para que se ajuste al cuadro era demasiado fina, por lo que se va a aumentar el grosor de esta para así solventar el problema del concentrador en dicho punto. El grosor inicial de esta rebaba era de 0,5 mm, se ha aumentado el grosor 2 mm que es básicamente el máximo que permite el diseño de la unión inferior sin hacer cambios más importantes.

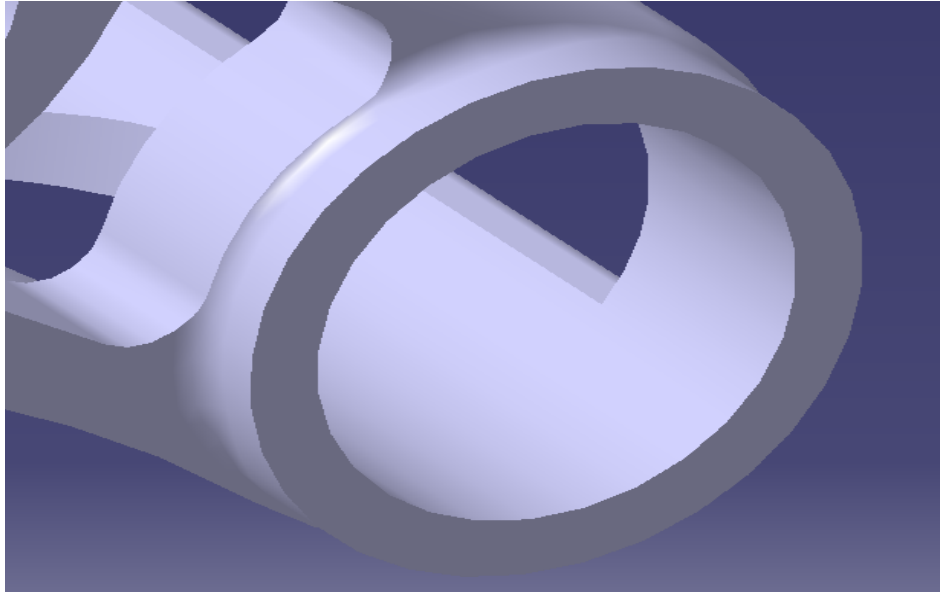


Figura 5.11. Rediseño del concentrador de tensión de la unión inferior

5.3. Comparativa del aluminio 6061 contra acero 4130

Después de haber realizado el rediseño, y haber realizado las comprobaciones pertinentes para que el cuadro ni la unión inferior fallen se va a proceder a ensayar el cuando con otro material diferente al aluminio como es el acero cromoly, para ver que material ofrecería mejores propiedades.

Para comenzar hablaremos del peso que nos ofrece el acero con los mismos grosores que el aluminio, hay que tener en cuenta que la densidad del acero es más elevada que la del aluminio, después de ver las propiedades de los elementos que conforman nuestro cuadro obtenemos un peso de 10,4 kg casi 3 veces más que el aluminio, eso será un factor muy relevante a la hora de su venta.

Para continuar ahora someteremos el cuadro de acero a los mismos que se ha sometido el cuadro de aluminio y compararemos los resultados para comprobar si la resistencia que obtenemos del cuadro de acero justifica el elevado peso.

Al igual que se ha hecho con el aluminio deberemos calcular la tensión admisible según nuestro criterio para el acero.

$$\sigma_{adm} = \frac{S_y}{n}$$
$$\sigma_{adm} = \frac{435 \text{ Mpa}}{1,5} = 290 \text{ Mpa}$$

Esta será la tensión admisible que tendremos en cuenta para el acero.

5.3.1. Ensayo de choque (caída de una masa) (comparativa)

Comenzamos con el primer ensayo dinámico comparativo del aluminio y el acero, como podemos ver en la tabla xx vemos que el acero sufre muchísima menos desplazamiento que el aluminio por lo que es bastante más rígido, también respecto a la primera iteración con el aluminio podemos ver que la tensión en el punto crítico se ha visto reducida además de haber también reducido su desplazamiento, por lo que podríamos que afirmar que el rediseño ha sido correcto.

IMPACTO 1	Aluminio 6061	Acero 4130	Limites Aluminio	Limites acero	Unidades
Desplazamiento total	2,6131	1,6549	10	10	mm
Desplazamiento en X	0,22226	0,11745	10	10	mm
Desplazamiento en Y	-2,0043	-1,23	10	10	mm
Desplazamiento en Z	2,1966	1,2677	10	10	mm
Tensión equivalente	141,11	288,32	184	290	Mpa

Tabla 5.6. Resultados ensayo de choque caída de una masa, comparativa aluminio vs acero

También podemos ver que la tensión que soporta el acero está casi en el límite admisible que nosotros hemos considerado la tensión se origina en el mismo punto que en el caso con aluminio.

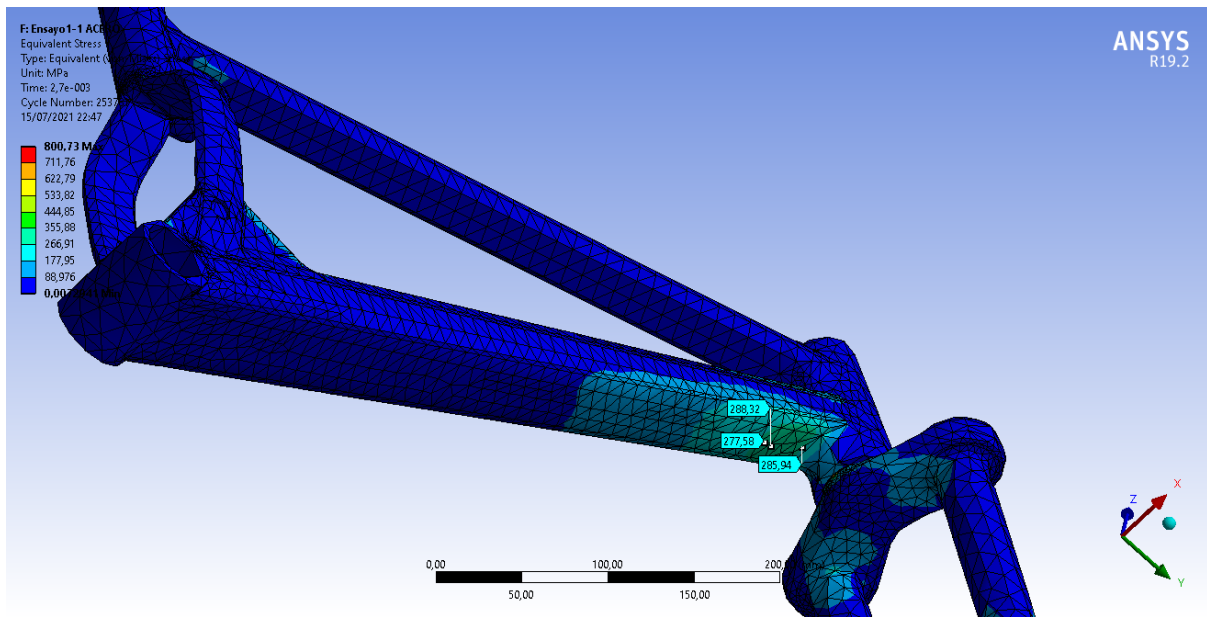


Figura 5.12. Tensión en el acero ensayo de choque por caída de una masa comparativa

5.3.2. Ensayo de choque (caída del cuadro) (comparativa)

En este ensayo lo primero que vamos a observar es el objeto que hemos rediseñado ya que en la primera iteración pudimos observar que en el hueco donde se aloja el rodamiento de la unión inferior del cuadro principal se concentraba demasiada tensión, cosa que era preocupante y nos alertaba de lo que ocurriría en próximos ensayos de fatiga.

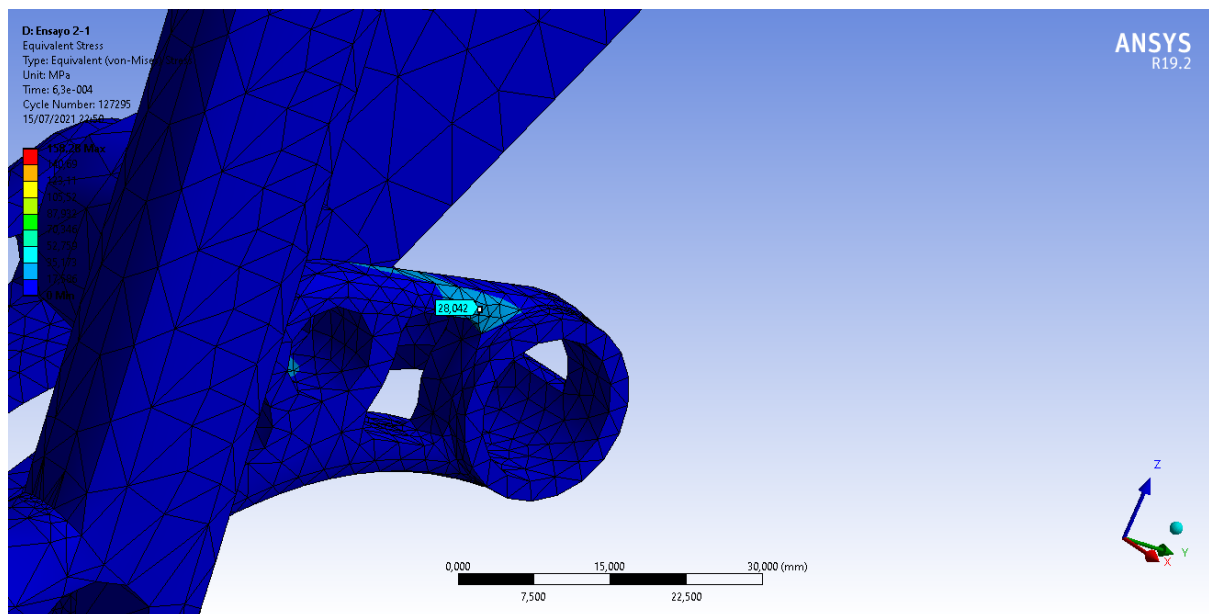


Figura 5.13. Concentrador de tensión en aluminio ensayo de choque por caída del cuadro comparativa

Como podemos observar en la figura xx prácticamente la tensión ha desaparecido en el concentrador, esto debía ser así ya que en este ensayo de caída del cuadro son otras partes de nuestro conjunto las que deben estar expuestas a más tensión.

IMPACTO 2	Aluminio 6061	Acero 4130	Limites Aluminio	Limites acero	Unidades
Desplazamiento total	0,225	0,18642	10	10	mm
Desplazamiento en X	0	0	10	10	mm
Desplazamiento en Y	0,15646	0,14089	10	10	mm
Desplazamiento en Z	0,088828	0,068536	10	10	mm
Tensión equivalente	29,211	54,173	184	290	Mpa

Tabla 5.7. Resultados ensayo de choque caída del cuadro, comparativa aluminio vs acero

Como podemos ver este ensayo sigue con la tendencia del primero, las desplazamientos son más grandes en el aluminio, las tensiones al igual que el primero en el acero es mayor además de estar situada en el mismo punto que en el aluminio.

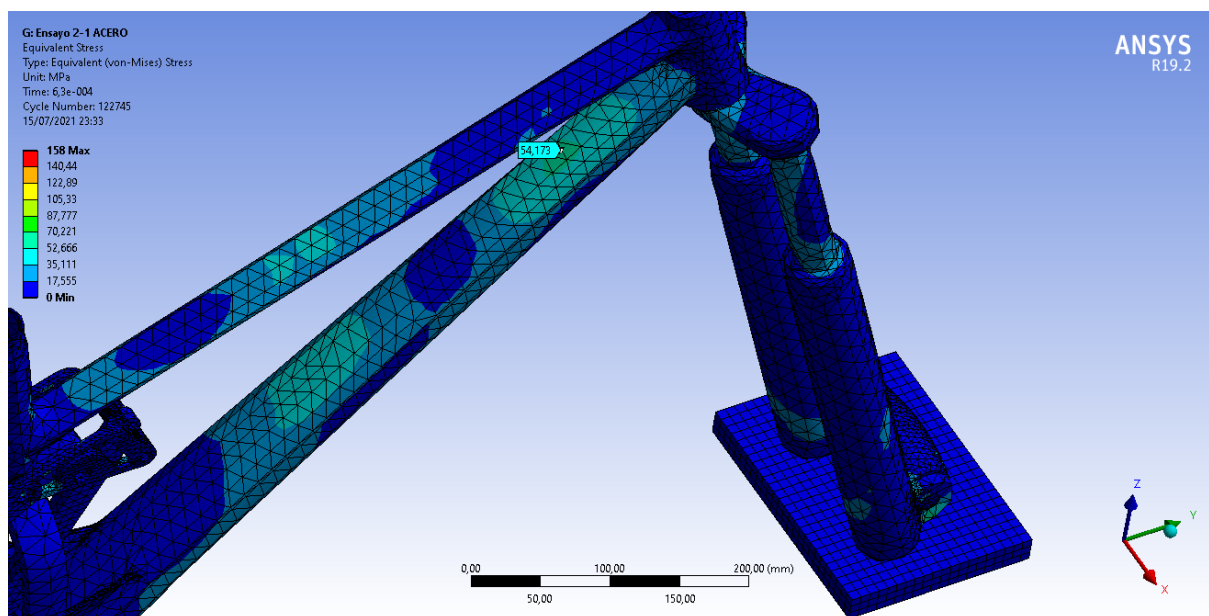


Figura 5.14. Tensión en el acero ensayo de choque por caída del cuadro comparativa

5.3.3. Ensayo de fatiga con fuerzas de pedaleo (comparativa)

Como podemos observar en la tabla de resultados xx hay varias tendencias claras, la primera de ellas es que el aluminio se deforma más que el acero, es decir es mucho más flexible y menos rígido, aún así las desplazamientos que sufren tanto uno como otro no llegan a 1 mm por lo que no es de preocupación

FATIGA 1	Aluminio 6061	Acero 4130	Limites Aluminio	Limites acero	Unidades
Desplazamiento total	0,70584	0,28827	10	10	mm
Desplazamiento en X	0,69479	0,28415	10	10	mm
Desplazamiento en Y	0,16043	0,04828	10	10	mm
Desplazamiento en Z	-0,15416	0,024836	10	10	mm
Tensión equivalente	150,15	185,48	184	290	Mpa
Ciclos	1000000	1000000	100000	100000	ciclos
Factor de seguridad	2,0821	1,9386	1,5	1,5	
Tensión equivalente alternante	150,15	185,48	184	290	Mpa

Tabla 5.8. Resultados ensayo fatiga con fuerzas de pedaleo, comparativa aluminio vs acero

Sin embargo en las tensiones es el acero el que soporta mayor tensión al igual carga, esto puede ser debido a su rigidez, ya que el aluminio permite más desplazamiento hace que la tensión no sea elevada en esos puntos.

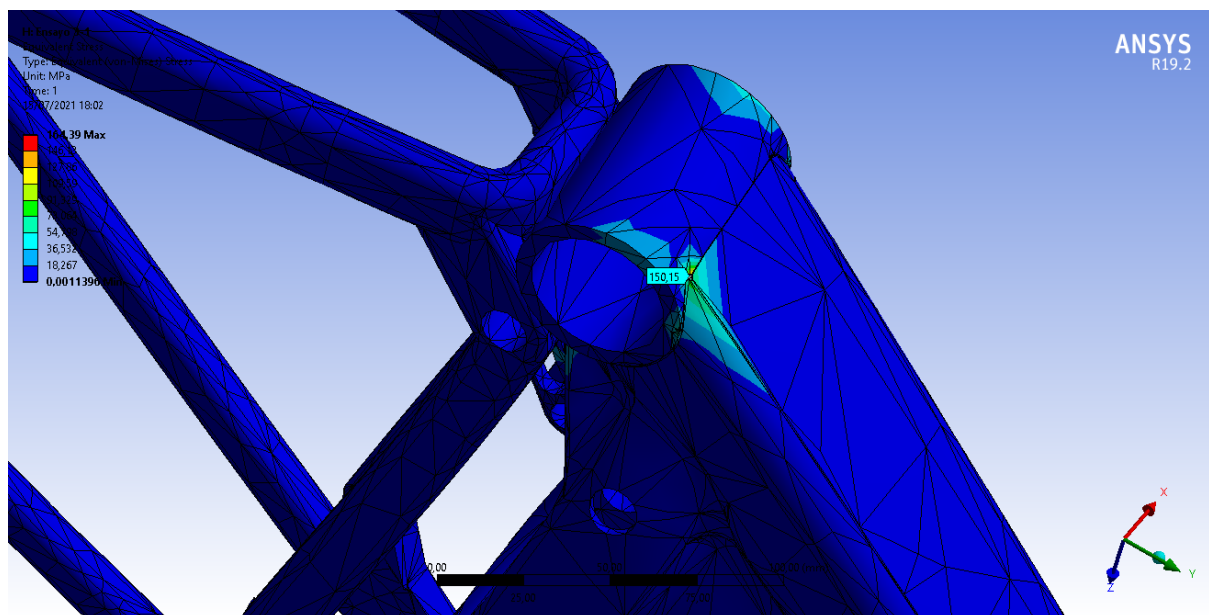


Figura 5.15. Tensión en el aluminio ensayo de fatiga por fuerzas del pedaleo comparativa

Como vemos los puntos de mayor tensión del aluminio y el acero han sido cercanos pero no justo en el mismo punto, el aluminio ha sido justo debajo de la caja del pedalier [] y el acero dentro de la caja de pedalier pegando al exterior[], lo que es un concentrador de tensiones.

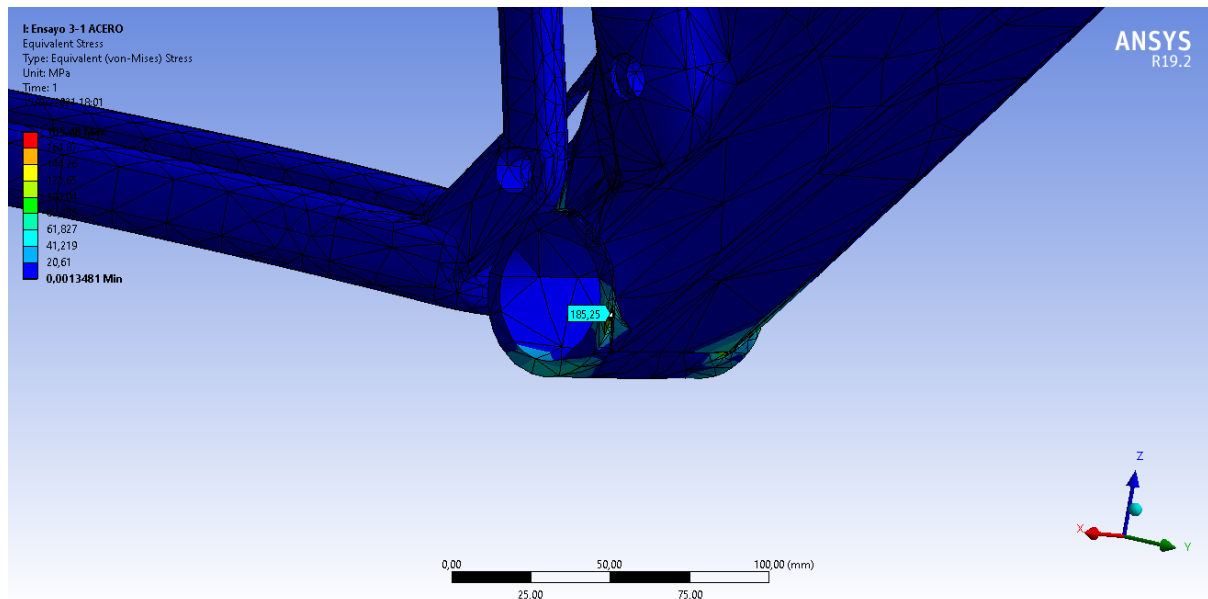


Figura 5.16. Tensión en el acero ensayo de fatiga por fuerzas del pedaleo comparativa

Otro dato interesante que podemos ver en la tabla xx es el factor de seguridad, como podemos comprobar el factor de seguridad del aluminio es algo mayor a la del acero. Por lo que el aluminio debe aguantar mejor a fatiga que el acero, sin embargo este número es demasiado cercano y si recordamos el aluminio siempre va perdiendo vida útil cuanto más ciclos pasan , es decir, su resistencia a fatiga “Se” pasando el millón de ciclos sigue disminuyendo.

5.3.4. Ensayo de fatiga por fuerzas horizontales. (Comparativa)

En este ensayo como podemos comprobar en la tabla xx los dos materiales cumplen el ensayo holgadamente sin ser uno el claro ganador.

Se sigue viendo la misma tendencia del anterior ensayo del aluminio de deformarse más

FATIGA 2	Aluminio 6061	Acero 4130	Limites Aluminio	Limites acero	Unidades
Desplazamiento total	0,67552	0,3896	10	10	mm
Desplazamiento en X	0	0	10	10	mm
Desplazamiento en Y	-0,12815	-0,0379	10	10	mm
Desplazamiento en Z	-0,60281	-0,34679	10	10	mm
Tensión equivalente	47,004	89,577	184	290	Mpa
Ciclos	1000000	1000000	100000	100000	ciclos
Factor de seguridad	7,6033	7,6357	1,5	1,5	
Tensión equivalente alternante	47,004	89,577	184	290	Mpa

Tabla 5.9. Resultados ensayo fatiga con fuerzas de pedaleo, comparativa aluminio vs acero

En cuanto a las tensiones esta vez están situadas en el mismo punto siendo como es obvio la del acero más elevada que el aluminio. Los factores de seguridad son muy similares con lo cual los dos a fatiga cumplirían a lo que consideramos vida infinita más de un millón de ciclos.

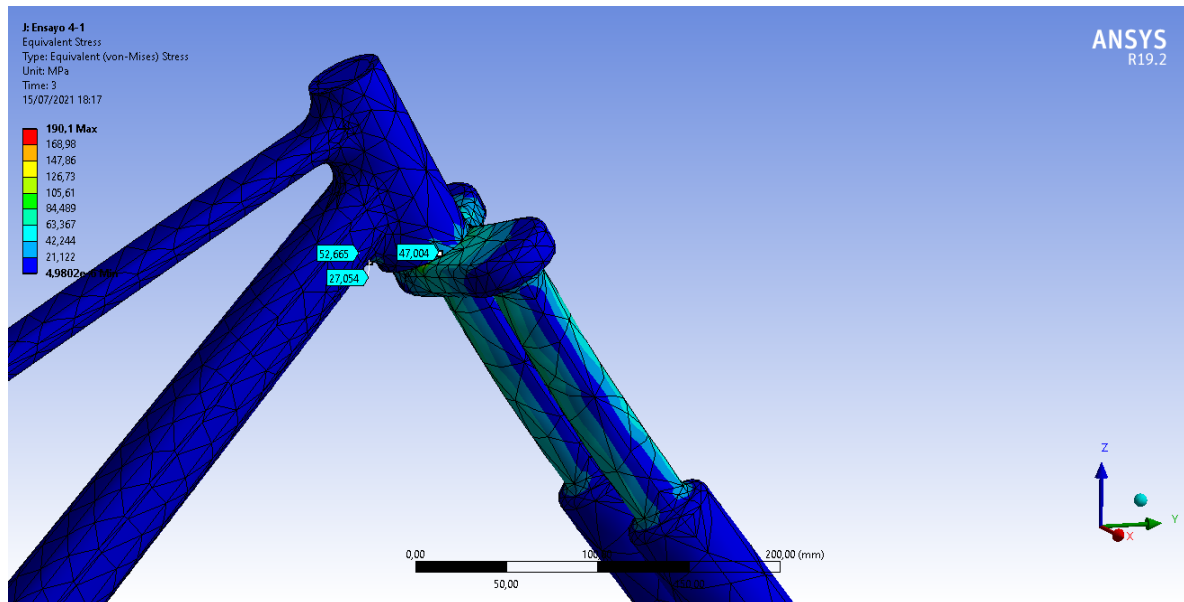


Figura 5.17. Tensión en el aluminio ensayo de fatiga por fuerzas horizontales comparativa

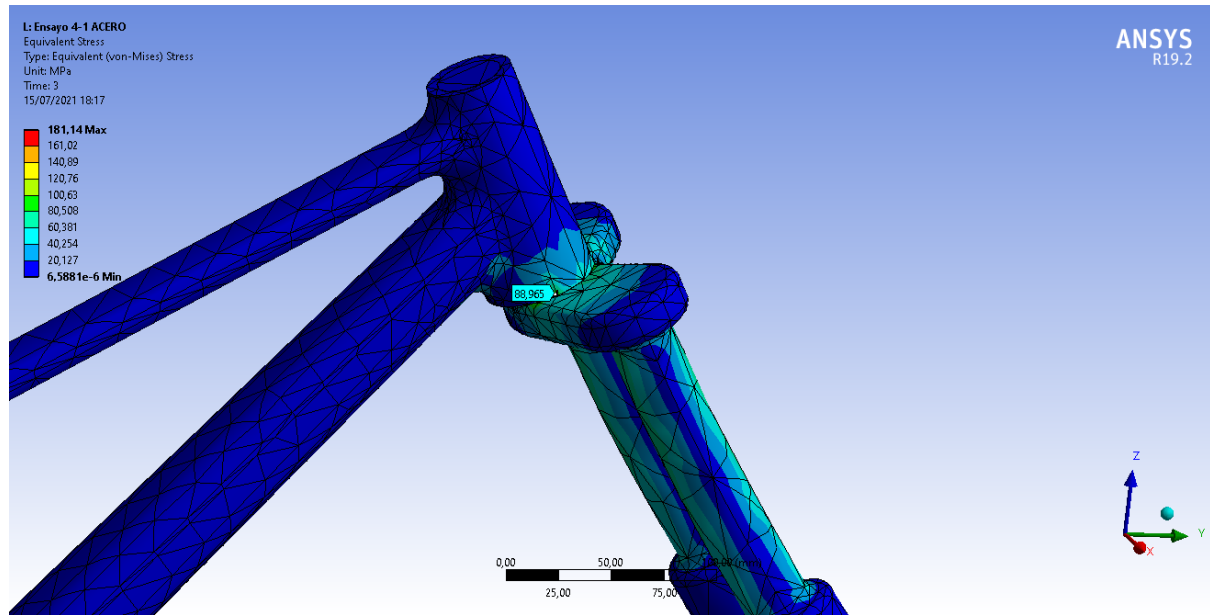


Figura 5.18. Tensión en el acero ensayo de fatiga por fuerzas horizontales comparativa

5.3.5. Ensayo de fatiga con una fuerza vertical (Comparativa)

En cuanto a este ensayo se podría decir que el claro vencedor sería el acero, a parte de seguir la tendencia de ensayos anteriores de deformarse menos esta vez ha soportado mejor la tensión de la fuerza propuesta.

Sin embargo el aluminio no cumpliría para un millón de ciclos por lo que su factor de seguridad es menor que 1.

FATIGA 3	Aluminio 6061	Acero 4130	Limites Aluminio	Limites acero	Unidades
Desplazamiento total	7	0,23236	10	10	mm
Desplazamiento en X	0,2939	0	10	10	mm
Desplazamiento en Y	-1,1003	-0,20304	10	10	mm
Desplazamiento en Z	-0,60686	-0,13223	10	10	mm
Tensión equivalente	156,43	111,05	184	290	Mpa
Ciclos	342790	1000000	100000	100000	ciclos
Factor de seguridad	0,895	3,355	1,5	1,5	
Tensión equivalente alternante	156,43	111,05	184	290	Mpa

Tabla 5.10. Resultados ensayo fatiga con fuerzas de pedaleo, comparativa aluminio vs acero

Como podemos ver los puntos de máxima tensión de cada material se han producido en lugares diferentes.

En el aluminio el concentrador de tensiones provocado por el cambio de sección y por la delgadez del final del tubo del sillín hace que la tensión en ese punto se haya elevado, hay

que tener en cuenta que ese cambio de sección en el tubo del sillín es necesario para introducir la abrazadera de la tija del sillín por lo tanto, es posible que esa abrazadera disminuyera la tensión en ese punto.

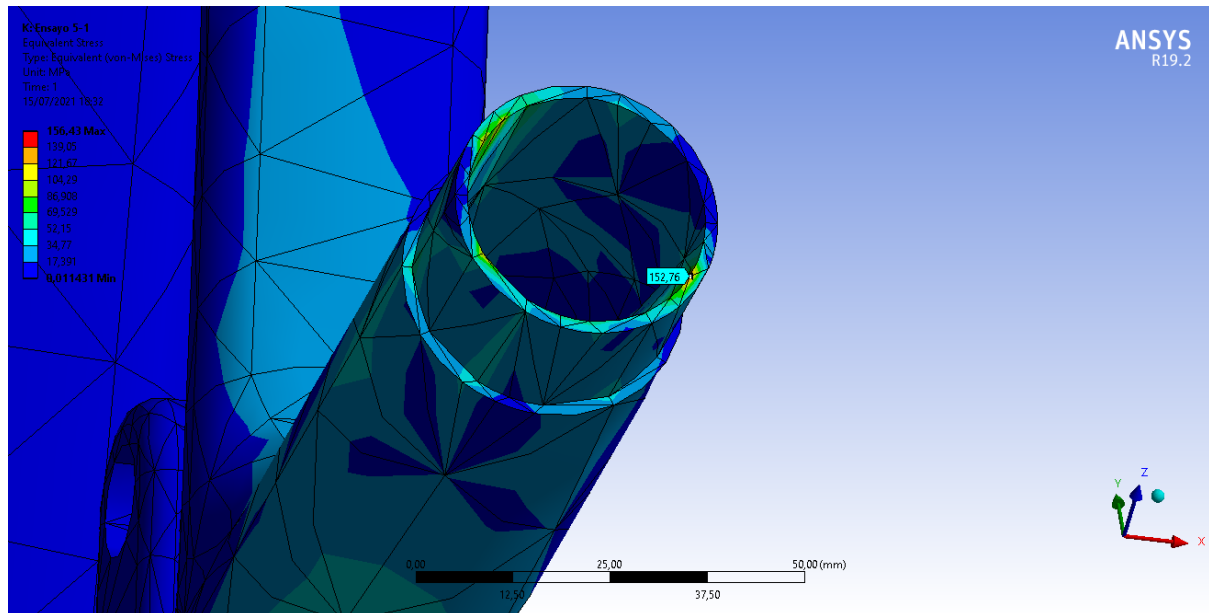


Figura 5.19. Tensión en el aluminio ensayo de fatiga por fuerzas verticales comparativa

En cuanto al acero el punto ha sido en la unión o basculante superior, se ha provocado debido a un concentrador, por un agujero en la pieza, este agujero en si no es para ninguna utilidad simplemente por el propio diseño no se ha querido hacer toda la pieza maciza para ahorrar peso, de ahí la existencia de dichos agujeros, no obstante es una tensión de la que no nos deberíamos preocupar.

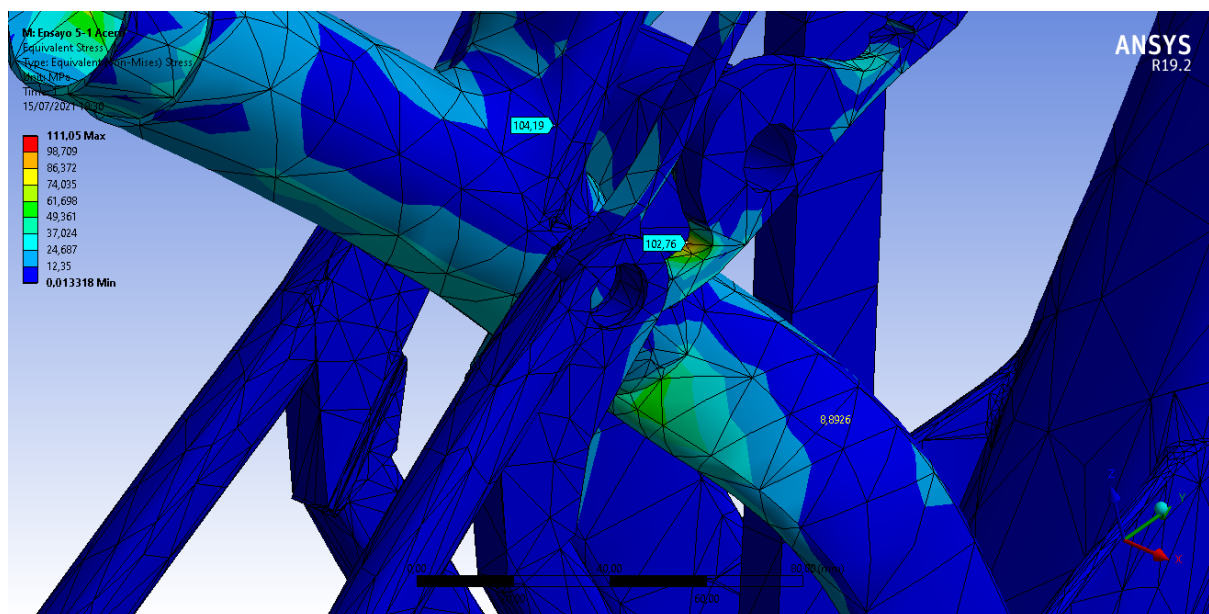


Figura 5.20. Tensión en el acero ensayo de fatiga por fuerzas verticales comparativa

6. Conclusión

En esta apartado se explicará brevemente a la conclusiones que se ha llegado después de haber realizado un diseño mediante CAD y haber realizado el análisis del mismo diseño mediante un programa de elementos finitos.

Se ha visto que fácilmente mediante el programa de elementos finitos podemos llegar a encontrar y valorar si nuestro cuadro es seguro o no. En esto sin duda alguna el conocimiento de la normativa ha sido esencial para tener una base de donde partir para realizar ensayos y ver si nuestro cuadro cumple los requisitos que se nos exige.

También es de gran importancia tener un criterio propio, ya que a veces la normativa no acoge todos los aspectos que se deben tener en cuenta, y es de gran importancia valorar mediante tu propio criterio, claro está después de haber cumplido los criterios de la normativa que el cuadro que se va a fabricar no fallará y será duradero.

Además de localizar rápidamente los fallos gracias a los ensayos que se han realizado, se ha podido valorar rápidamente cuál era el problema y cuáles serían las posibles soluciones. También cabe remarcar la importancia de las uniones y basculantes en las bicicletas de doble suspensión, porque aunque el cuadro aguante los ensayos si otro de los elementos falla, puede acabar en accidente fatal para el ciclista. En este caso el más problemático ha sido la unión inferior, debido a que el perfil donde se aloja el rodamiento era demasiado delgado, con lo que provocaba que las tensiones se acumulasen en ese punto y pudiese romper con facilidad. Afortunadamente, la solución ha sido fácil simplemente aumentar el grosor de ese enlace. Es interesante pensar que gracias a estos programas, una empresa puede ahorrarse la fabricación de varios prototipos que al final acabarían fallando para llegar el resultado final, con estos programas varios de esos prototipos no son necesarios acercándonos bastante a la solución final.

Otro apartado que cabe destacar de nuestro proyecto es la superioridad del aluminio frente al acero para bicicletas de doble suspensión. Es posible que para una bicicleta rígida sea más interesante el uso del acero ya que en ese tipos de bicicletas se busca más rigidez. Aún así la diferencia de peso entre el aluminio y el acero es demasiado grande como para que el acero tenga un hueco en bicicletas de este tipo. Debido a esto es normal que en el mercado no se encuentren bicicletas de acero de doble suspensión de acero.

En cuanto a los ensayos no se puede decir que el acero haya sido un claro vencedor en resistencia frente al aluminio, bien en varios ensayos el acero ha superado al aluminio en

durabilidad, pero en otros se podría decir que el aluminio y el acero estaban prácticamente igualados en ensayos de fatiga.

Sin duda alguna el aluminio es el que tiene ganado un hueco en el mercado de las bicicletas de montaña donde claramente la fibra de carbono es la amplia ganadora.

En cuanto a las simulaciones realizadas cabe mencionar la complejidad que tiene hacer simulaciones explícitas, en este caso dinámicas. Se debe tener en cuenta muchos factores además de entender cómo ajustar el programa a la perfección para así poder ahorrar el mayor tiempo posible entre simulación y simulación. Ajustar el tiempo en estas simulaciones sin duda alguna es algo fundamental ya que una milésima de segundo más o menos pueden suponer horas de trabajo para el ordenador, pero esta milésima más o menos también puede influir drásticamente en los resultados.

6.1. Trabajos Futuros

En cuanto a trabajos futuros a partir de este proyecto pueden ser varios los más idóneos.

El primero es reducir el espesor varias veces e ir iterando para ver si con el acero se pudiese conseguir el mismo peso que el aluminio y la misma resistencia o mayor. También se debería tener en cuenta el proceso de fabricación de cada uno ya que también influirá a la hora de obtener un precio final para el cuadro.

Otro trabajo podría ser realizar un diseño sin tener en cuenta modelos presentes en el mercado, simplemente utilizando la imaginación del diseñador. Esto traería como inconveniente que el tiempo se multiplicaría varias veces ya que tendría que ajustar un diseño totalmente inventado a los estándares del mercado, sin ninguna referencia base sería complicado ajustar la geometría a la perfección, esto sería a base de iterar e ir probando diversas combinaciones. Además que se debería estudiar la biomecánica de dicho cuadro para que fuese confortable para el ciclista.

La ventaja que tendría todo esto es que se podría sacar al mercado un diseño innovador, que sea poco parecido al de otras marcas. Esto puede tener sus ventajas pero también sus inconvenientes. Si a la clientela del sector le gusta el modelo puede ser un éxito rotundo ya que todo el sector querrá tener una bicicleta que sea

diferente a las demás, sin embargo si el diseño no triunfa puede ser un fracaso estrepitoso con lo que se perderían grandes cantidades de dinero.

Para evitar esto se debe hacer un extenso estudio de mercado para asegurar que el diseño que aparezca sea un éxito.

7. Referencias

- [1] Red de Ciudades por la Bicicleta: Informe completo del Barómetro de la Bicicleta 2019.
<https://www.ciudadesporlabicicleta.org/2019/12/10/presentacion-del-barometro-de-la-bicicleta-2019/>
- [2] Asociación Ambe
http://asociacionambe.com/wp-content/uploads/2021/05/Datos-2020_AMBE_resumen.pdf
- [3] Estudio de mercado de Ambe 2020.
<https://www.cmdsport.com/ciclismo/actualidad-ciclismo/sector-ciclista-alcanzo-una-facturacion-record-2-607-millones-2020/>
- [4] Esponja antipinchados fotografía de www.bikeshop.es
- [5] Fotografía de ciclista practicando enduro.
<https://www.todomountainbike.net/competicion/enduro-world-series-2019-richie-rude-isabeau-courdurier-ganan-whistler>
- [6] Geometría de una bicicleta de montaña de doble suspensión.
<https://www.todomountainbike.net/mecanica/conceptos-que-hay-que-conocer-entender-geometria-bicicleta-montana>
- [7] Historia del Mountain Bike.
<https://mountain-bike-world3.webnode.es/historia-del-mountain-bike/>
- [8] Historia de Gary Fisher
<https://esmtb.com/historia-gary-fisher/>
- [9] Sram Eagle XX1
<https://www.bikester.es/sram-xx1-eagle-set-grupo-cambio-1x12-dub-34z.-170mm-M130179.html?vqid=G833890>
- [10] Primer modelo de horquilla rock shox
<https://esmtb.com/horquillas-rockshox-historia-mountain-bike/>
- [11] Cuadro de carbono
<https://componentesbicicletabaratos.es/cuadros-carretera/958-cuadro-carretera-carbono-700c-di2-.html>
- [12] Campeonato del mundo de XC
<https://www.turiski.es/calendario-definitivo-copa-del-mundo-uci-mountain-bike-2020/>
- [13] Modalidad de trail
<https://www.brujulabike.com/diferencias-mtb-xc-trail/>

[14] Modalidad de enduro

<https://rfec.com/index.php/en/smartweb/seccion/noticia/rfec/btt/13747-Abiertas-las-inscripciones-para-el-Campeonato-de-Espana-de-Enduro-en-Canarias>

[15] Modalidad de descenso

<https://freeman.la/sam-hill-ganarlo-downhill-campeon-mundial-enduro/>

[16] Modalidad de Freeride

<https://www.todomountainbike.net/videos/experiencia-bienvenido-aguado-red-bull-rampage-2019-explicada-mismo>

[17] Horquilla Yari

<https://www.mtbpro.es/actualidad/rockshox-continua-presentando-novedades-2019-lyrik-super-deluxe-pike-yari-y-revelation>

[18] Tipos de direcciones

<https://www.emeb.es/direcciones-tipos-y-medidas/>

[19] Manillar Renthal

https://www.deporvillage.com/manillar-renthal-fatbar-v2?gclid=Cj0KCQjw8laGBhCHARIsAGIRRYqV3tvMRtPEb1MH4z64epM2lp0LGpvcMjp7NPMUywAlcMLEgBk_eGMAIYhEALw_wcB

[20] Potencia Ritchey

https://www.deporvillage.com/potencia-ritchey-comp-trail?gclid=Cj0KCQjwvaeJBhCvARIsABgTDM6Ex86TxooxvnTmvqCsCt5Q5uBtaONj_Wg_TtP59PqaSCkBXkTKSsEaAm2jEALw_wcB

[21] Tija telescópica Red

https://www.bikeshop.es/tija-de-sillin-telescopica-red-cycling-products-pro-remote-aa-mm/140193.html?gshop=ES&ef_id=Cj0KCQjwvaeJBhCvARIsABgTDM6YvAVS7DcfyTj2W1pK_Y7AuFtjEDp_eFC1QJnTSPjhMGrCSV2wCgEaAtIWALw_wcB:G:s&gclid=Cj0KCQjwvaeJBhCvARIsABgTDM6YvAVS7DcfyTj2W1pK_Y7AuFtjEDp_eFC1QJnTSPjhMGrCSV2wCgEaAtIWALw_wcB

[22] Sillin Fizik

https://www.deporvillage.com/sillin-fizik-transiro-mistica-kium-negro-regular?gclid=Cj0KCQjwvaeJBhCvARIsABgTDM6tAmBsvkyjRcF1wB0JTGMEk87DBuHwbCab6oT0Qw6IUy7P2kVNhGcaAgrJEALw_wcB

[23] Sistema trinquete

http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec_trinquete.htm

[24] Rueda mavic Crossmax

https://www.bikeshop.es/rueda-trasera-mavic-crossmax-pro-27-5-eje-12x148-mm-boost-2019/155950.html?gclid=Cj0KCQjwvaeJBhCvARIsABgTDM5m-9X_LThs73Ciz5DkryzF481nuw7

[KEUOwqZYkGFKSFfXL7FMY2RUaAI9CEALw_wcB&gshop=ES&ef_id=Cj0KCQjwvaeJBhCvARIsABgTDM5m-9X_LThs73Ciz5DkryzF481nuw7KEUOwqZYkGFKSFfXL7FMY2RUaAI9CEALw_wcB:G:s](https://www.bikeinn.com/ciclismo/sram-grupo-gx-eagle-dub-lunar-boost/137670858/p?utm_source=google_products&utm_medium=merchant&id_producto=11316337&country=es&gclid=Cj0KCQjwvaeJBhCvARIsABgTDM5m-9X_LThs73Ciz5DkryzF481nuw7KEUOwqZYkGFKSFfXL7FMY2RUaAI9CEALw_wcB:G:s)

[25] Grupo Sram

https://www.bikeinn.com/ciclismo/sram-grupo-gx-eagle-dub-lunar-boost/137670858/p?utm_source=google_products&utm_medium=merchant&id_producto=11316337&country=es&gclid=Cj0KCQjwvaeJBhCvARIsABgTDM6f0lqGNYBmQACCCQORzcqholBKfc8eMOj1P-Gv_9zP7jdSWedlKREaAp6IEALw_wcB&gclidsrc=aw.ds

[26] Cajas pedalier

<https://www.emeb.es/cajas-de-pedalier-tipos-y-medidas/>

[27] Ejes de rueda

<https://esmtb.com/ejes-ruedas-bicicletas-mountain-bike/>

[28] Guia de materiales para cuadros

<https://tualum.com/blog/guia-materiales-cuadros-bicicleta/>

[29] Materiales para cuadros

<https://www.mtbpro.es/afondo/informe-materiales-para-cuadros-de-mtb>

[30] Acero Cromoly

<https://store.daigoro-bici.com/CONOCIENDO-EL-CROMOLY>

[31] Aluminio

<https://www.bttbike.com/mtb/269343-siglas-qu-mejor-marearse-iquest-iacute-gu-eacute-breve-aluminio-aleaciones>

[32] Cuadro de aluminio

<https://www.amazon.es/ridewill-marco-Gravel-aluminio-Aluminium/dp/B072N34XF7>

[33] Cuadro de titanio

<https://www.bike-components.de/es/Salsa/Kit-de-cuadro-de-titanio-Timberjack-27-5-29-p57942/>

[34] Cuadro de carbono

<https://rinascitabike.com/es/cuadro-mtb-de-carbono-29er-hardtail-boost-913g/>

[35] ISO 4210-6:2014, Versión corregida 2014-11-01

[36] ISO 4210-2:2014

[37] Introducción a la mecánica del impacto

https://gc.scalahed.com/recursos/files/r145r/w469w/U5_Liga2.htm

[38] Diseño en ingeniería mecánica de Shigley Capítulo 6. (Novena edición)

[39] Curva S-N aluminio

https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:BrittleAluminium320MPa_S-N_Curve.svg

[40] Mondraker web

<https://www.mondraker.com/es/es>

[41] Canyon web

<https://www.canyon.com/es-es/>

[42] Ventajas y desventajas de la posición del amortiguador trasero

<https://tuvalum.com/blog/diferencias-entre-amortiguador-vertical-y-horizontal-en-mountainbike/>

[43] Pivot web

<https://www.pivotcycles.com/en/>

[44] Orbea web

<https://www.orbea.com/es-es/>

[45] Aspectos de la geometría

<https://www.todomountainbike.net/categoria/mecanica/>

[46] Aspectos de la geometría

<https://www.mtbpro.es/afondo/geometria-de-la-bici-de-mtb-medidas-angulos-y-lo-que-significan>

[47] Tamaño de rueda

<https://solobici.es/la-medida-de-rueda-ideal-26-275-o-29/>

[48] Scott web

<https://www.scott-sports.com/es/es/>

[49] Universidad de Waterloo, Departamento de ingeniería mecánica ME322-Fatiga

[50] Propiedades de los materiales

<http://www.matweb.com/>

[51] Curva S-N del aluminio

https://openi.nlm.nih.gov/detailedresult?img=PMC4003947_sensors-14-04364f8&req=4

[52] INAC 2005 velocity measurement

<https://www.ipen.br/biblioteca/2005/inac/10570.pdf>