

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
ESCUELA POLITÈCNICA SUPERIOR DE ALCOY



**UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA**

CAMPUS D'ALCOI

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

**“Diseño, análisis y estudio a fatiga de cuadro de bicicleta
con elementos finitos y diferentes materiales de fabricación.”**

Autor:

Damià Castaño del Olmo

Dirigido por:

Dr. Rafael Antonio Balart Gimeno

Dr. Néstor Montañés Muñoz

Septiembre 2019

RESUMEN

“Diseño, optimización y fabricación de un cuadro de bicicleta MTB.”

El proyecto se centra en el diseño y análisis del componente más importante de una bicicleta, su cuadro, ya que todos los elementos que componen una bicicleta van unidos a él. Mediante el empleo de materiales metálicos, establecidos estándares en la producción de cuadros de bicicleta, se pretende diseñar un cuadro ligero, duradero y de altas cualidades, en concreto para una bicicleta de montaña, destinada a un usuario estándar. El presente proyecto contempla diversas disciplinas en el ámbito de la Ingeniería Mecánica: pre-diseño y estudio de diseños mediante análisis y simulaciones, estudio de estados tensionales, fijaciones, análisis resistentes, dimensionamiento final, pre-estudio de fabricación y pre-análisis de costes.

Palabras clave: diseño; cuadro de bicicleta; Solidworks; simulaciones; ligereza; altas prestaciones; fatiga.

SUMMARY

“Design, optimization and manufacture of an MTB bicycle frame”

The project focuses on the design and analysis of the most important component of a bicycle, its frame, since all the elements that make up a bicycle are attached to it. Through the use of metallic materials, established standards in the production of bicycle frames, it is intended to design a lightweight, durable and high-quality frame, specifically for a mountain bike, intended for a standard user. The present project includes various disciplines in the field of Mechanical Engineering: pre-design and study of designs through analysis and simulations, study of tension states, fixations, resistant analysis, final sizing, and manufacturing pre-study and cost pre-analysis.

Keywords: design; frame bicycle; Solidworks; simulations; lightness; high performance; fatigue.

RESUM

“Disseny, optimització i fabricació d’un quadre de bicicleta MTB ”

El projecte es centra en el disseny i anàlisi del component més important de una bicicleta, el seu quadre, ja que tots els elements que componen una bicicleta van units a ell. Mitjançant el us de materials metàl·lics, establerts estàndards en la producció de quadres de bicicleta, es pretén dissenyar un quadre lleuger, durador i de altes qualitats, en concret per a una bicicleta de muntanya, destinada a un usuari estàndard. El present projecte contempla diverses disciplines en el àmbit de la Enginyeria mecànica: pre-disseny i estudi de dissenys mitjançant anàlisis i simulacions, estudi de estats tensionals, fixacions, anàlisis resistents, dimensionament final, pre-estudi de fabricació i pre-anàlisis de costos.

Paraules claus: disseny; quadre de bicicleta; Solidworks; simulacions; lleugeresa; altes prestacions; fatiga.

Tabla de Contenidos

RESUMEN.....	3
SUMMARY	5
RESUM.....	7
LISTADO DE FIGURAS.....	13
LISTADO DE TABLAS.....	19
I. INTRODUCCIÓN	21
I.1. EVOLUCIÓN DE LAS BICICLETAS.....	23
I.I.1. EVOLUCION DE LAS BICICLETAS DE MONTAÑA	26
I.2. MODALIDADES.....	29
I.2. COMPONENTES DE LA BICICLETA.....	35
I.4. COMPONENTES DEL CUADRO.....	40
I.5. MATERIALES	41
I.5.1 ACERO.....	41
I.5.2. ALUMINIO.....	43
I.5.3 TITANIO.....	45
I.5.4. FIBRA DE CARBONO.....	45
I.5.5 COMPARACION DE LAS PROPIEDADES	46
II. OBJETIVOS.....	49
II.1. OBJETIVO GENERAL.....	51
II.2. OBJETIVOS PARTICULARES.....	51
III. NORMATIVA APLICABLE.....	53
III.3 NORMATIVA.....	54

IV. FATIGA.....	55
IV.1. INTRODUCCIÓN A LA FATIGA.....	56
IV. 2. ROTURA POR FATIGA	58
IV.3. CURVAS S-N	59
IV. 4 FACTORES QUE MODIFICAN EL LIMITE A FATIGA	61
IV.5 CRITERIOS DE FALLO.....	62
V. GEOMETRIA	65
V.1. BIOMECÁNICA.....	66
V.2 MEDIDAS DEL DISEÑO	68
V.3. GEOMETRIA DEL DISEÑO FINAL	71
VI. DISEÑO Y ANÁLISIS	73
VI.1. DISEÑO DEL CUADRO.....	75
VI.2. ANÁLISIS.....	77
VI.I.1. SELECCIÓN DE MATERIALES.	79
VI.3. ENSAYO A FATIGA CON FUERZAS HORIZONTALES.....	81
VI.3.1. ESTUDIO DEL ENSAYO.....	81
VI.3.2. DEFINICIÓN DE LAS CARGAS Y CONDICIONES DE CONTORNO	82
VI.3.2.1. ESTUDIO ESTÁTICO.....	82
VI.3.2.2. ENSAYO DE FATIGA	85
VI.3.3 RESULTADOS OBTENIDOS.....	86
VI.3.3.1 ALUMINIO 6061 T-6	87
VI.3.3.2 ACERO 4130	88
VI.3.3.3 TITANIO TI-3AL-2.5V	89

VI.4. ENSAYO A FATIGA CON FUERZAS VERTICALES	91
VI.4.1. ESTUDIO DEL ENSAYO	91
VI.4.2. DEFINICIÓN DE LAS CARGAS Y CONDICIONES DE CONTORNO	92
VI.4.2.1. ESTUDIO ESTÁTICO	92
VI.4.2.2. ENSAYO DE FATIGA	96
VI.4.3 RESULTADOS OBTENIDOS.....	96
VI.4.3.1 ALUMINIO 6061 T-6	97
VI.4.3.2 ACERO 4130	98
VI.4.3.3 TITANIO TI-3AL-2.5V	100
VI.5. ENSAYO A FATIGA CON FUERZAS DE PEDALEO.....	101
VI.5.1. ESTUDIO DEL ENSAYO.....	101
VI.5.2. DEFINICIÓN DE LAS CARGAS Y CONDICIONES DE CONTORNO	104
VI.4.2.1. ESTUDIO ESTÁTICO	104
VI.5.2.2. ENSAYO DE FATIGA	107
VI.5.3 RESULTADOS OBTENIDOS.....	108
VI.5.3.2 ALUMINIO 6061 T-6	108
VI.5.3.3 ACERO 4130	109
VI.5.3.4 TITANIO TI-3AL-2.5V	111
VII. COMPARACIÓN DE RESULTADOS	113
VIII. CONCLUSIONES.....	117
IV. APÉNDICES	121
IV.1. REFERENCIAS.....	123
IV.2. PLANOS ACOTADOS.	124

LISTADO DE FIGURAS

Figura I-1. Prototipo de Leonardo Da vinci.	23
Figura I-2. Recreación a partir de los planos.....	23
Figura I-3. Bicicleta de Karl Dreis	24
Figura I-4. Bicicleta de Kirkpatrick Macmillan	24
Figura I-5. Patente del primer neumático de cuero y goma realizado por Robert William Thomson.	25
Figura I-6. Bicicleta Ernest Michaux	25
Figura I-7. Bicicleta de John Kemp Starley.....	26
Figura I-8. Bicicleta de Schwinn Spitfire.....	27
Figura I-9. Bicicleta de Joe Breeze	28
Figura I-10. Bicicleta Stumpjumper	28
Figura I-11. Bicicleta de ruta o de carretera.....	29
Figura I-12. Bicicleta de Cross-Country.....	30
Figura I-13. Bicicleta de Downhill.....	31
Figura I-14. Bicicleta de Four Cross	31
Figura I-15. Bicicleta de Enduro.....	32
Figura I-16. Bicicleta de Trial.....	32
Figura I-17. Bicicleta de ciclocross	33
Figura I-18. Bicicleta de Ciclismo artístico	33
Figura I-19. Bicicleta de ciclobol.....	34
Figura I-20. Bicicleta BMX.	34
Figura I-21. Horquilla tradicional para bicicleta MTB	36
Figura I-22. Dirección roscada.....	37

Figura I-23. Sistema de dirección “Threadless”	38
Figura I-24. Típica rueda de MTB.....	39
Figura I -25. Conjunto de transmisión.....	39
Figura I-26. Tubos principales del cuadro de la bicicleta.....	40
Figura I-27. Proceso de fabricación integral del acero.....	42
Figura I-28. Proceso de fabricación del acero a partir de la chatarra.	43
Figura I-29. Gráfico de comparación de las propiedades nominales de los materiales..	46
Figura IV-1. Ciclo de carga.....	57
Figura IV-2. Diferencia de gráficas de las tensiones en función del tiempo entre un estudio estático y un estudio dinámico	58
Figura IV-3. Etapas hasta la rotura de un material a causa de la fatiga.....	59
Figura IV-4. Máquina de Moore para realizar un ensayo de fatiga con una probeta.	60
Figura IV-5. Ejemplo de curva S-N del solidworks empleando logaritmo en base 10. ...	60
Figura IV-6. Diagrama de los tres criterios de fallo a fatiga.	62
Figura V-1. Longitud de piernas.....	66
Figura V-2. Longitud de brazos	66
Figura V-3. Altura corporal.....	66
Figura V-4. Estándares de tallas de la marca Van Nicholas	67
Figura VI-1. Croquis realizado con el programa Solidworks	75
Figura VI-2. Croquis de la vaina izquierda.....	76
Figura VI-3. Extrusión de la vaina derecha mediante la función de “simetría”	76
Figura VI-4. Sólido final del cuadro de la bicicleta.....	76
Figura VI-5. Propiedades del aluminio 6061 T-6 de la biblioteca de Solidworks.....	79
Figura VI -6. Propiedades del material Acero 4130 de la biblioteca de Solidworks	80

Figura VI-7. Propiedades del material Ti-3Al-2.5V. Material creado de nuevo para la base de datos del Solidworks.	80
Figura VI-8. Cargas a aplicar en el ensayo de fatiga con fuerzas verticales según la normativa ISO 4210-6. Las unidades de las cargas son Newton.	81
Figura VI-9. Conjunto de ensayo de fatiga con cargas horizontales según la normativa ISO 4210-6.....	82
Figura VI-10. Condiciones del ensayo de fatiga con cargas horizontales en Solidworks	82
Figura VI-11. Carga remota de la fuerza horizontal en el ensayo de fatiga con cargas horizontales en Solidworks.	83
Figura VI-12. Desplazamiento remoto para las vainas traseras en el ensayo de fatiga con fuerzas horizontales.	84
Figura VI-13. Desplazamiento remoto en simulación del rodillo para el ensayo de fatiga con cargas horizontales.....	84
Figura VI-14. Establecimiento de suceso de carga en Solidworks para cumplimentar con la normativa en el ensayo de fatiga.	85
Figura VI-15. Gráfica de la función “relación de carga” en Solidworks	85
Figura VI-16. Cuadro de bicicleta mallado.	86
Figura VI-17. Ensayo con fuerzas horizontales. Tensión de Von mises.....	87
Figura VI-18. Ensayo con fuerzas horizontales. Factor de seguridad.	87
Figura VI-19. Ensayo con fuerzas horizontales. Ciclos de vida.	87
Figura VI-20. Ensayo con fuerzas horizontales. Tensión de Von Mises.	88
Figura VI-21. Ensayo con fuerzas horizontales. Factor de seguridad	88
Figura VI-0-22. Ensayo con fuerzas horizontales. Ciclos de vida.....	89
Figura VI-23. Ensayo con fuerzas horizontales. Tensión de Von Mises.	89
Figura VI-24. Ensayo con fuerzas horizontales. Factor de seguridad.	90
Figura VI-25. Ensayo con fuerzas horizontales. Ciclos de vida.	90

Figura VI-26. Cargas a aplicar en el ensayo de fatiga con fuerzas verticales según la normativa ISO 4210-6. Las unidades de las cargas son Newtons.....	91
Figura VI-27. Conjunto de ensayo de fatiga con cargas verticales según la normativa ISO 4210-6	92
Figura VI-0-28. Dibujo para sacar el punto exacto de aplicación de la fuerza vertical sobre el cuadro.	93
Figura VI-29. Coordenadas donde se va aplicar la fuerza vertical según las distancias acotadas en la normativa ISO 4210-6.....	93
Figura VI-30. Cargas y apoyos aplicado sobre el cuadro de bicicleta en el Solidworks para realizar el ensayo a fatiga con cargas verticales según la normativa.....	93
Figura VI-31. Desplazamiento remoto en simulación del rodillo para el ensayo de fatiga con cargas verticales.	94
Figura VI-32. Desplazamiento remoto de las vainas para el ensayo de fatiga con cargas verticales.	95
Figura VI-33. Carga remota de la fuerza horizontal en el ensayo de fatiga con cargas verticales en Solidworks.....	95
Figura VI-34. Establecimiento de suceso de carga en Solidworks para cumplimentar con la normativa en el ensayo de fatiga.	96
Figura VI-35. Gráfica de la función “Con base en 0 (LR=)”	96
Figura VI-36. Ensayo con fuerzas verticales. Tensión de Von Mises.	97
Figura VI-37. Ensayo con fuerzas verticales. Factor de seguridad.....	97
Figura VI-38. Ensayo con fuerzas verticales. Ciclos de vida.....	97
Figura VI-39. Ensayo con fuerzas verticales. Teoría de Von mises.	98
Figura VI-40. Ensayo con fuerzas verticales. Factor de seguridad.....	99
Figura VI-41. Ensayo con fuerzas verticales. Ciclos de vida.....	99
Figura VI-42. Ensayo con fuerzas verticales. Tensión de Von mises.	100
Figura VI-43. Ensayo con fuerzas verticales. Factor de seguridad.....	100
Figura VI-0-44. Ensayo con fuerzas verticales. Ciclos de vida	101

Figura VI-45. Cargas a aplicar en el ensayo de fatiga con fuerzas de pedaleo según la normativa ISO 4210-6. Las unidades de las cargas son Newtons.....	103
Figura VI-46. Conjunto de ensayo de fatiga con cargas de pedaleo según la normativa ISO 4210-6. Las medidas son en milímetros.....	103
Figura VI-47. Condiciones del ensayo de fatiga con cargas horizontales en Solidworks.	104
Figura VI-48. Carga remota de la fuerza de pedaleo en el ensayo de fatiga con cargas horizontales en Solidworks	105
Figura VI-49. Desplazamiento remoto para la horquilla en el ensayo de fatiga con fuerzas de pedaleo.....	106
Figura VI-50. Desplazamiento remoto para la cogida de las vainas traseras a la unión vertical para el ensayo de fatiga con cargas horizontales.	106
Figura VI-51. Desplazamiento remoto para la sujeción de las vainas traseras en el ensayo de fatiga con fuerzas de pedaleo.....	107
Figura VI-52. Suceso para cumplir con la sucesión de las cargas de los dos pedales durante los ciclos establecidos por la normativa.....	107
Figura VI-53. Ensayo con fuerzas de pedaleo. Tensión de Von Mises.....	108
Figura VI-54. Ensayo con fuerzas de pedaleo. Factor de seguridad.	108
Figura VI-55. Ensayo con fuerzas de pedaleo. Ciclos de vida.	109
Figura VI-56. Ensayo con fuerzas de pedaleo. Tensión de Von mises.	109
Figura VI-57. Ensayo con fuerzas de pedaleo. Factor de seguridad.	110
Figura VI-58. Ensayo con fuerzas de pedaleo. Ciclos de vida.	110
Figura VI-59. Ensayo con fuerzas de pedaleo. Tensión de Von Mises.....	111
Figura VI-60. Ensayo con fuerzas de pedaleo. Factor de seguridad.	111
Figura VI-61. Ensayo con fuerzas de pedaleo. Ciclos de vida.	111

LISTADO DE TABLAS

Tabla V-1. Medidas de los diferentes tubos y ángulos del diseño de la bicicleta final. ...	71
Tabla V-2. Espesores de los diferentes tubos del cuadro	71
Tabla VI-1. Limite elástico y factor de seguridad para cada material empleado en los ensayos a fatiga.	79
Tabla VI-2. Resultados obtenidos del ensayo con cargas horizontales con Aluminio 6061 T-6.....	88
Tabla VI-3. Resultados obtenidos del ensayo con cargas horizontales con Acero 4130. 89	
Tabla VI-4. Resultados obtenidos del ensayo con cargas horizontales con Titanio Ti-3Al-2.5V.....	90
Tabla VI-5. Resultados del ensayo a fatiga con cargas verticales aplicando el material Aluminio 6061 T-6.....	98
Tabla VI-6. Resultados del ensayo a fatiga con cargas verticales aplicando el material Acero 4130.	99
Tabla VI-7. Resultados del ensayo a fatiga con cargas verticales aplicando el material Titanio Ti-3Al-2.5V.....	101
Tabla VI-8. Resultados del ensayo a fatiga con cargas de pedaleo aplicando el material Aluminio 6061 T-6.....	109
Tabla VI-9. Resultados del ensayo a fatiga con cargas de pedaleo aplicando el material Acero 4130.	110
Tabla VI-10. Resultados del ensayo a fatiga con cargas de pedaleo aplicando el material Titanio Ti-3Al-2.5V.....	112
Tabla VII-1. Resultados obtenidos en los diferentes ensayos realizados y con los diferentes materiales de fabricación.	115
Tabla VIII-1. Comparación de precios del material y del peso del cuadro según material fabricado.	118

I. INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

I. Introducción

I.1. EVOLUCIÓN DE LAS BICICLETAS.

El primer prototipo de bicicleta que se conoce se remonta a finales del siglo XV. Se trata de unos dibujos en papel hechos por Leonardo Da Vinci, en el cual ya incluía una cadena de transmisión para pasar la fuerza realizada por los pies a la rueda trasera. A partir de este prototipo nacen las demás variantes que se conocen hasta llegar a la bicicleta actual.

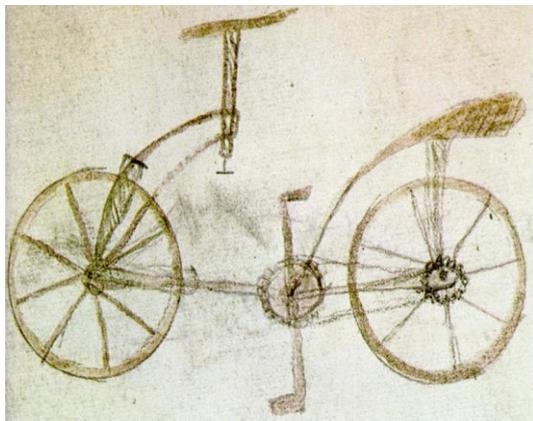


Figura I-1. Prototipo de Leonardo Da vinci.



Figura I-2. Recreación a partir de los planos

En 1816, el inventor **Karl Dreis** construye una bicicleta sin pedales, cadenas ni frenos. El avance se tenía que realizar con los pies, al igual que el frenado. En cambio, dispone de manillar para dirigir la trazada que se quería realizar. Esta bicicleta se pensaba que iba a revolucionar el mercado de ese momento, pero no fue así y solo fue un prototipo más para seguir avanzando en la evolución de las bicicletas.

I. Introducción



Figura I-3. Bicicleta de Karl Dreis

En 1839, el escocés **Kirkpatrick Macmillan** añadió pedales a dicho prototipo. Fue un gran avance, ya que de este modo se podía impulsar mediante el empuje de los pies hacia delante y hacia atrás. La bicicleta fue utilizada por el mismo inventor para moverse por su ciudad, pero no fue ni vendida ni patentada.



Figura I-4. Bicicleta de Kirkpatrick Macmillan

El primer avance de las ruedas hinchables tal y como las conocemos actualmente, fue realizado por **Robert William Thomson**, que sustituyó las ruedas de madera por unos neumáticos hechos con la combinación de cuero y goma.

I. Introducción



Figura I-5. Patente del primer neumático de cuero y goma realizado por Robert William Thomson.

En 1861, **Ernest Michaux** puso en su bicicleta los pedales en la rueda delantera, así la transmisión era directa a la rueda. Mas inventores también lo realizaron solamente para su uso personal, en cambio la bicicleta de Ernest se produjo en serie y atrajo la atención de la gente. Cabe destacar que la rueda delantera era de mayor diámetro que la trasera y resultaba un poco más complicado aguantar el equilibrio. El frenado se realizaba mediante la tensión de un hilo de hierro que frenaba la rueda trasera por fricción. A falta de la transmisión, esta bicicleta ya poseía los elementos que conocemos en las bicicletas actuales en un estado primitivo.

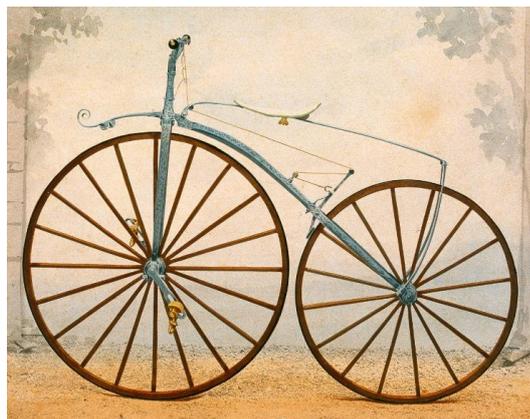


Figura I-6. Bicicleta Ernest Michaux

En 1885, **John Kemp Starley** invento la "Safety Bicycle", que ya se acercaba mucho a las bicicletas de hoy en día. Contaba con frenos y la persona estaba mucho más cerca del suelo. Poco después se añadieron a la bicicleta los neumáticos con cámara caliente, que fueron un gran invento, ya que su función era amortiguar los golpes contra

I. Introducción

el suelo con el aire, mientras que de madera eran macizas. Las ruedas ya eran más o menos del mismo tamaño, y los pedales se movían por una cadena de transmisión unida a la rueda trasera. La bicicleta se produjo en serie y fue muy demandada en su época.



Figura I-7. Bicicleta de John Kemp Starley.

A partir de esta bicicleta y con la variante de varios inventores, se ha ido creando la bicicleta conocida hoy en día, con los cuadros más resistentes, un menor peso de los cuadros, asientos con muelles, etc. También se empezaron a realizar competiciones de bicicletas y la obsesión por ganarlas fue haciendo que se realizaran investigaciones para conseguir ganar tiempo. De esta manera, el mundo del ciclismo empezó a avanzar a pasos agigantados hacia la evolución de diseños, materiales e innovación.

I.I.1. EVOLUCION DE LAS BICICLETAS DE MONTAÑA

La bicicleta de montaña se remonta a tiempos mucho más modernos. A finales de los 70 y principios de los 80, se empezó a utilizar la bicicleta de Schwinn Spitfire, como base para la realización de las bicicletas de montaña.

I. Introducción



Figura I-8. Bicicleta de Schwinn Spitfire

En los años 70, un grupo de ciclistas comenzaron a competir con ellas haciendo descenso por montañas y terrenos rocosos. Las pruebas eran muy duras, y con ella se alcanzaban altas velocidades e impactos contra la bicicleta, que provocaban su rotura. Con este problema, los ciclistas de esta modalidad empezaron a buscar alternativas para que soportaran sus pruebas sin ningún problema y además que fueran más seguras. En un principio, se cambiaron las ruedas por unas de mayores pulgadas, que duraban mucho más, y a partir de este variante vino el resto. Quitaron todo tipo de adornos y elementos para reducir el peso, adaptaron frenos de motocicleta y otros elementos en busca de un mayor rendimiento. Gary Fisher, un ciclista que practicaba esta modalidad, agregó a su bicicleta personal, "Schwinn Excelsior", los conocidos cambios de marcha, que en función del terreno por el que condujera, pudiera gastar una marcha u otra para mejorar la eficiencia. También **Joe Breeze** hizo lo mismo con su bicicleta y empezó a hacer variantes. Ambos empezaron a vender sus bicicletas personalizadas, siendo todo un éxito y extendiendo esta modalidad de ciclismo por todo el mundo.

I. Introducción



Figura I-9. Bicicleta de Joe Breeze

En 1981, Mike Sinyard, fundador de la marca Specialized, una de las mayores productoras de bicicletas hoy en día, introdujo en el mercado la “StumpJumper, que fue la primera bicicleta de montaña que se produjo en serie para su venta. Su principal característica con sus competidores de mercado directos, era su precio de 750 dólares, justo la mitad que su competencia.



Figura I-10. Bicicleta Stumpjumper

A partir de este momento, las bicicletas han ido evolucionando a pasos agigantados, en lo que a dinámica y mecánica se refiere. Con la integración de nuevos componentes, y el estudio de nuevos materiales para reducir características tan importantes en la competición como son el peso del cuadro y la agilidad de la bicicleta, se han convertido en lo que conocemos hoy en día. En todo momento se busca reducir estos parámetros para reducir tiempos en competiciones, por eso se realizan estudios tan avanzados de los cuadros. Destacar que, a lo largo de los años, y con la puesta en marcha

I. Introducción

de diferentes competiciones, las bicicletas se han ido acoplando a cada una de ellas, para adaptarse al tipo de prueba, por lo que nos podemos encontrar con diferentes tipos de bicicleta dentro de una misma modalidad.

I.2. MODALIDADES.

Dentro del mundo del ciclismo no existe una única modalidad, sino que hay varias posibilidades. Dependiendo del estilo que se busque, cada persona puede optar por una diferente. Cada modalidad tiene su particularidad y riesgos, en función de lo que busca el usuario. Existen cuatro bloques a destacar dentro del mundo del ciclismo:

- **Ciclismo de ruta.** Es el estilo más conocido y popular por todos ya que las bicicletas se encuentran en la carretera a diario. Es el ciclismo que se practica en carreteras pavimentadas y a una elevada velocidad. Las duraciones de las pruebas suelen ser elevadas y exigentes. Se suelen realizar dentro de una misma, competición diferentes etapas en las que el ganador se conoce por puntos y tiempo acumulado. Las características de este tipo de bicicletas son, principalmente, la ligereza y espesor del cuadro, además de tener unas llantas delgadas y de diámetro elevado.



Figura I-11. Bicicleta de ruta o de carretera

- **Ciclismo de montaña.** Es de las modalidades con mayor riesgo. Existen tres tipos principales:

I. Introducción

- Cross-country. Es la modalidad más practicada en lo que al ciclismo de montaña se refiere. De hecho, está considerado como deporte olímpico. El inconveniente de la prueba para poder difundirla por los medios de comunicación y de este modo hacerla más popular entre los que no la conocen, es la dificultad de grabar las pruebas. Las pruebas se realizan en terrenos irregulares, generalmente en circuitos cerrados preparados para ello. Las bicicletas se caracterizan por tener un cuadro rígido, siempre buscando el menor peso del mismo, además de tener obligatoriamente suspensión de horquilla, como mínimo. También son importantes los frenos para aprovechar siempre la inercia de las bajadas al máximo. Y, por último, cabe destacar la importancia de las ruedas, que cada vez tienden a ser más grandes y más delgadas, ya que, aunque se pierda agarre de la superficie, permiten tener una mayor velocidad.



Figura I-12. Bicicleta de Cross-Country

- Downhill. Es una modalidad de ciclismo extrema. Se practica en terrenos muy irregulares que pueden ser tanto naturales como artificiales. Dentro de la prueba puede haber desde pendientes muy elevadas hasta saltos de una gran altura, siempre en descenso. Para ello, la bicicleta tiene que estar dotada obligatoriamente de dos suspensiones, una delantera y otra trasera y el cuadro tiene que ser rígido. Los ciclistas tienen que llevar un traje especial para, en caso de impacto, hacerse el mínimo daño posible.

I. Introducción



Figura I-13. Bicicleta de Downhill

- Four cross o XCO. Es una modalidad muy parecida al descenso. Se realiza en circuitos naturales en la montaña. Los cuadros tienen que ser rígidos y lo más ligeros posibles. Tienen suspensión delantera y algunos también optan por la suspensión trasera. Se diferencia del descenso principalmente porque todos los corredores salen en las competiciones al mismo tiempo.



Figura I-14. Bicicleta de Four Cross

- Enduro. Es una modalidad muy parecida al descenso. Se diferencia principalmente por que los ciclistas antes de una prueba solo pueden entrenar en el circuito una vez, las bicicletas no se pueden modificar a lo largo de la competición y, sobre todo, por el tiempo de duración de la prueba, mucho mayor que en el descenso.

I. Introducción



Figura I-15. Bicicleta de Enduro

- Trial. Consiste en realizar un circuito con varios obstáculos, pasándolo con el menor número de apoyo de pie posible. Es una prueba de mucho equilibrio. Para ello, la mayoría de las bicicletas van sin sillín y no cuentan con cambios de marchas, por lo que, a nivel mecánico, son bicicletas muy sencillas. Se busca también la ligereza en ellas.



Figura I-16. Bicicleta de Trial

- Ciclocross. Consiste en realizar varias vueltas a un circuito en el que hay asfalto y terrenos irregulares de todo tipo. Incluso hay zonas dentro del circuito en el que el ciclista se tiene que bajar de la bicicleta para poder sortearlos y continuar con la prueba.

I. Introducción



Figura I-17. Bicicleta de ciclocross

- **Ciclismo en sala.** Existen dos modalidades:
 - Ciclismo artístico. Es como el patinaje sobre hielo, pero realizándolo con una bicicleta.



Figura I-18. Bicicleta de Ciclismo artístico

- **Ciclobol.** Como el fútbol, con dos equipos con bicicletas. Consiste en meter goles en la portería contraria.

I. Introducción



Figura I-19. Bicicleta de ciclobol

- **BMX.** Existen dos modalidades. En una de ellas se ha de realizar un circuito con curvas y obstáculos. En la otra modalidad se trata de hacer todo tipo de trucos con la bicicleta. Son bicicletas muy específicas para la prueba.



Figura I-20. Bicicleta BMX.

En todas las diferentes modalidades de montaña enumeradas, las bicicletas se pueden parecer mucho entre ellas a simple vista. Para saber diferenciar una bicicleta hecha para una prueba u otra principalmente debemos fijarnos en la geometría del cuadro, las ruedas y el recorrido de la horquilla.

I. Introducción

I.2. COMPONENTES DE LA BICICLETA

Una bicicleta es una composición de varios elementos. Su elemento principal es el cuadro, pero tiene muchos más elementos de los que cada uno tiene su papel importante dentro del funcionamiento de la misma. Para entender el funcionamiento de una bicicleta se van a nombrar los componentes más importantes:

- **Cuadro.** Componente que se va a estudiar en el trabajo. Es la pieza a la cual van unidas el resto de las partes y el que soporta la mayoría del peso del ciclista. Su geometría es muy importante a la hora de elegir una bicicleta, ya que va a influir directamente en el comportamiento que va a tener nuestra bicicleta y sus prestaciones para el usuario. Está formado por diferentes tubos de determinadas longitudes y secciones. Se pueden ver más específicamente en la Figura I.26.
- **Horquilla.** Su función consta de unir la rueda delantera a nuestro cuadro y amortiguarla. Es el principal cambio respecto a los avances tecnológicos que ha habido, en lo que a las bicicletas de montaña se refiere. Su función es que la amortiguación se adapte al terreno, por lo que las irregularidades no afecten en gran medida al ciclista y al comportamiento de la bicicleta. Hay diferentes tipos de suspensiones, en un mercado en el que la competencia cada vez es mayor.

Las características a tener en cuenta en la elección de una suspensión, principalmente son los tipos de suspensión, el recorrido que tienen y las opciones de bloqueo que nos permita.

Hay diferentes tipos de horquillas: las que realizan la amortiguación mediante un muelle interno y las que la realizan mediante aire.

Las ventajas que ofrecen las horquillas por muelle son: un precio más económico y un mecanismo empleado mucho más simple, lo que supone un

I. Introducción

menor mantenimiento. En cambio, las horquillas de aire se caracterizan por su ligereza y por las altas prestaciones que ofrecen. Además, se pueden configurar según el cliente desee y el terreno por el que se vaya a gastar. Se emplean en bicicletas de alta gama, por lo que son más caras y requieren de un mayor mantenimiento.

También hay que tener en cuenta el recorrido de la horquilla, que es la distancia en mm entre la parte superior e inferior de la misma. Según la modalidad a la que esté destinada nuestra bicicleta, tendrá más o menos recorrido de amortiguación. El recorrido óptimo e ideal para una bicicleta de montaña habitual, y que se empleará en el diseño de cuadro del proyecto, será entre 120-140 mm.

La última característica a tener en cuenta, es la del bloqueo de la suspensión, que sirve para aumentar la rigidez de la horquilla y de esta manera aprovechar mejor la inercia en subidas pronunciadas. Esto suele encontrarse en las horquillas de gama alta e incluso tienen la opción de controlar el rebote de compresión, en función del terreno en el que nos encontremos en cada momento y las vibraciones sean mayores o menores.



Figura I-21. Horquilla tradicional para bicicleta MTB

- **La dirección.** Elemento de unión entre el cuadro y el tubo de la horquilla situado en el tubo frontal del cuadro. Es un elemento muy importante de seguridad que se tiene que tener en las mejores condiciones, ya que, si esta no se encuentra en estado óptimo o no es el elemento adecuado, se puede sufrir un accidente. La nomenclatura está estandarizada mediante el

I. Introducción

(Standardized Headset Identification System); sistema estandarizado de identificación de direcciones.

Dentro de las direcciones existen dos tipos en función de la forma en la que se unen a la pipa de dirección del cuadro:

- Dirección roscada. Se diferencian a primera vista, ya que en el exterior podemos observar tuercas de gran tamaño. Se fijan mediante un sistema de roscas, tuercas y contratuercas al tubo roscado de la horquilla que también se encuentra roscado (tubo de dirección). Cabe destacar que el tubo de la potencia y el juego de dirección son independientes. Se emplean más en las bicicletas de gama baja, debido a sus características. No tienen una alta rigidez y requieren de un mantenimiento periódico. La única ventaja es la posibilidad que tienen de subir y bajar el manillar sin desajustar la dirección.



Figura I-22. Dirección roscada.

- Sistema de dirección "Threadless". Se diferencia del roscado principalmente por el sistema de sujeción con el manillar, que consiste en usar un elemento que une la barra de la horquilla con el manillar llamada "potencia". Hay tres tipos de sistemas: el

I. Introducción

tradicional, la dirección semi-integrada y la dirección integrada, y se diferencian principalmente en la forma de alojar los rodamientos en el cuadro, y dependen de la forma en la que está construida la pipa de dirección.



Figura I-23. Sistema de dirección "Threadless".

- **El manillar.** Junto con la potencia, son los elementos encargados de transmitir el movimiento a las direcciones. Es el componente sobre el que el ciclista guía la rueda delantera. Existen manillares de diferentes longitudes y formas en función del tipo de conducción que el ciclista quiera adaptar.
- **Tija.** Junto con el sillín, forman el conjunto de componentes para adaptar la altura a la que se va a sentar el ciclista. La tija es el elemento de unión entre el sillín y el cuadro, directamente al tubo de asiento. Es regulable dentro de un rango de medidas.
- **Ruedas.** Es el elemento al que se transmite la fuerza del ciclista mediante el conjunto de transmisión. Está formado por varios componentes como son: la cubierta, llanta, cámara, eje y el buje. Existen diferentes tamaños de ruedas dentro

I. Introducción

del ciclismo, en las que su principal diferencia se haya en la superficie de contacto con el suelo. Por tanto, si queremos una mayor estabilidad buscaremos una mayor pulgada de rueda, si queremos mayor maniobrabilidad buscaremos de menor tamaño.



Figura I-24. Típica rueda de MTB.

- **Conjunto de transmisión.** Está formado principalmente por la patilla de cambio, los piñones, el cambio, los platos, la biela, el eje de pedalier, la cadena y el desviador. Todos ellos forman el conjunto que su función principal es transmitir la fuerza del ciclista desde los pedales hasta las ruedas.



Figura I -25. Conjunto de transmisión

I. Introducción

I.4. COMPONENTES DEL CUADRO.

Los componentes y principales tubos que forman parte del cuadro de bicicleta de modo general son los siguientes:

- **Telescopio.** Barra unida al tubo superior e inferior sobre el que gira el manillar, es decir, realiza la función de eje. Es de alta resistencia, debido a que aguanta gran parte de la fuerza a la que se somete el manillar.
- **Vaina inferior.** Se encargan de unir el eje de la rueda trasera con la caja de pedalier.
- **Vaina superior.** Se refiere al tubo que se encarga de enlazar el eje de la rueda trasera con el tubo del asiento.
- **Tubo del asiento.** Tubo que forma dos triángulos en el cuadro y las partes inferiores con las superiores. En la unión inferior se aloja la caja de pedalier y en la superior el sillín de la bicicleta.
- **Tubo inferior.** Une el telescopio con la caja de pedalier.
- **Tubo superior.** Une el telescopio con el tubo del asiento. Este tubo puede llegar a ser prescindible en el cuadro y hay en el mercado ya varios ejemplos que no lo incluyen, como pueden ser las bicicletas holandesas o algunas eléctricas. En el caso del tipo de bicicletas de las que vamos a realizar el estudio no se puede quitar.



Figura I-26. Tubos principales del cuadro de la bicicleta.

I. Introducción

I.5. MATERIALES

A lo largo de los años el material de fabricación para los cuadros de las bicicletas ha ido variando en función de las necesidades que han ido apareciendo, cada vez más exigentes en sus características. Los materiales que se han ido empleando y se siguen utilizando en la actualidad son los siguientes:

I.5.1 ACERO

Es un material muy pesado y poco utilizado en la actualidad. Su uso actualmente es muy reducido, aunque en unos pocos casos en el que se requiere de resistencia y durabilidad, y el peso es algo meramente secundario, sigue siendo el material idóneo, como es el caso de las bicicletas de ciclo turismo.

Debido a la alta resistencia que tiene a la rotura, este material permite hacer los diámetros de los cuadros de un menor espesor, pero estas dimensiones son limitadas en cuanto a espesor mínimo se refiere, por el hecho de tener que soldar los tubos entre sí para formar la geometría final del cuadro de bicicleta. Esto también permite la producción de una mejor estética en nuestro cuadro, debido a que nos permite realizar secciones de los diferentes tubos mucho menores y con las secciones más rectas que en otros materiales no son posibles.

Cabe destacar también su precio reducido y resistencia a la fatiga, que es muy elevada.

El principal material empleado para la fabricación de los cuadros de bicicleta es el Acero 4130. Es una aleación que contiene Cromo y Molibdeno, que realizan la función de agentes de refuerzo del material. Contienen bajo contenido en carbono, lo que hace que sea un material fácil de soldar. Se conoce con la denominación AISI 4130.

I. Introducción

Proceso de fabricación de la materia prima:

El acero es una aleación compuesta de hierro y de carbono. Mayoritariamente está formado de hierro, ya que el carbono tiene que estar como máximo en un 2%.

Es un material que se puede obtener mediante dos procesos distintos, a partir de dos materias primas:

- A partir del arrabio, extraído por mediación de hornos eléctricos (proceso integral).
- Mediante la fundición de chatarra.

En su fabricación por el proceso integral, en primer lugar, se echa el mineral de hierro en el horno. Este mineral es sacado directamente de la tierra y contiene impurezas. En el horno se mezcla con COK, un material parecido al carbón, que además de realizar la función de combustible, retira las impurezas del material. Para eliminar de manera más contundente las impurezas, se utilizan piedras de cal. Cuando el material está casi puro, con la combustión del cok se une el carbono al acero y forma el llamado “arrabio”.

Este material está líquido y se va a pasar a darle la forma. Las impurezas que han quedado en el proceso, también llamadas escoria, se reutilizan para realizar otros procesos.

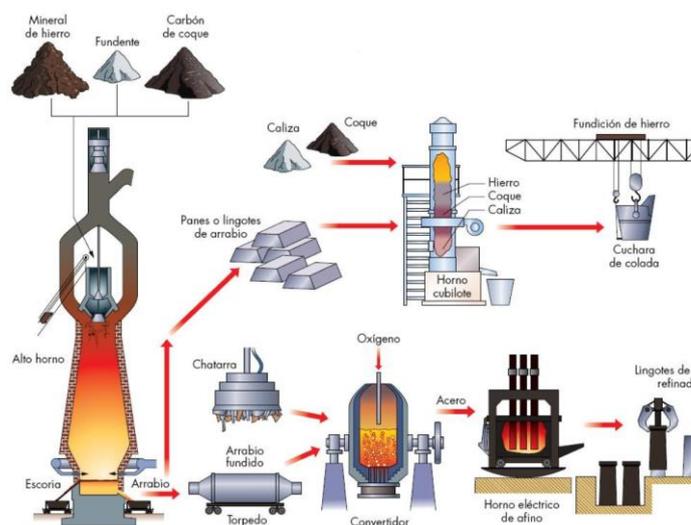


Figura I-27. Proceso de fabricación integral del acero.

I. Introducción

La fabricación a partir de chatarra, se utiliza un horno eléctrico para fundir el material y realizar un baño fundido. El primer paso del proceso es un control de la calidad de la chatarra. Una vez se comprueba que la chatarra es óptima para realizar el proceso, se vuelca en el horno eléctrico, donde se va a fundir el material. A continuación, se vuelca en el horno cuchara, donde el material ya llega totalmente puro y sin escoria, y su objetivo es encontrar a la composición química deseada. Luego el material se solidifica y se sacan las denominadas palanquillas, con una sección determinada. A partir de las palanquillas, se realiza un precalentamiento de las mismas y se hacen pasar por varios trenes de laminado, hasta conseguir la forma en la que queremos el material final.

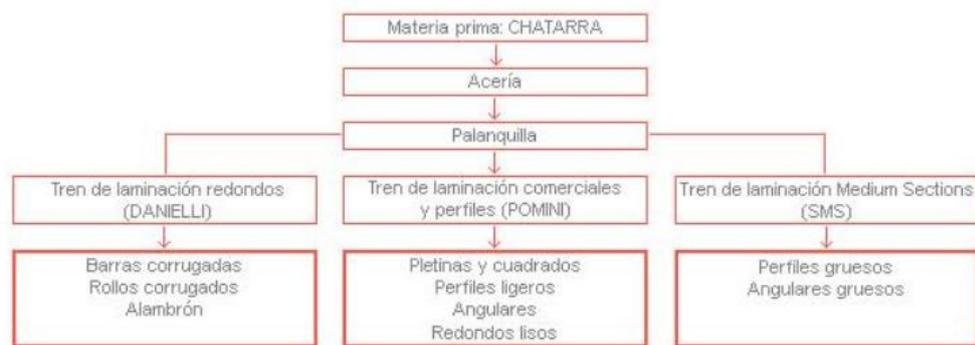


Figura I-28. Proceso de fabricación del acero a partir de la chatarra.

I.5.2. ALUMINIO

El aluminio desde los años 80 se emplea con mucha frecuencia en la fabricación de los cuadros de bicicletas. Es el material más empleado en la industria con diferencia al resto.

Sus características principales son su resistencia a la fatiga y rotura, que aun siendo menor que el acero, cumple los requisitos. La densidad material es menor, pero tiene en su contra que al tener que fabricar los tubos con un diámetro mayor que los de acero para cumplir con la resistencia a la rotura y con esto reducir la fatiga, el peso final del cuadro respecto a uno de acero no es tan diferente. Esto supone también un mayor gasto de material, que supone unos costes superiores de fabricación.

I. Introducción

Una característica principal es su alta resistencia a la corrosión, lo que alarga considerablemente la vida útil de la bicicleta.

La aleación de aluminio más empleada para la fabricación de los cuadros de bicicleta es el Aluminio 6061 T-6. Contiene como elementos principales el aluminio, magnesio y silicio. Es un material con buenas propiedades mecánicas y fácil de soldar, y está tratado térmicamente para endurecerse.

Proceso de fabricación de la materia prima:

El aluminio es el elemento metálico más abundante. Este elemento no se encuentra de manera aislada en la naturaleza, sino que se extrae de la bauxita, que es la fuente de aluminio que más abunda. Es un material compuesto entre un 40-60% de hidróxido de aluminio e impurezas.

Cuando ya hemos obtenido la bauxita, se procede a refinar y reducir hasta que se logra sacar el polvo de alúmina. El proceso de fundición se empieza con una técnica que, disuelve la alúmina en una cuba con criolita mineral fundida, y esta se encuentra revestida por el interior de carbón en un baño electrolítico. En este proceso, la alúmina sufre una descomposición, formando aluminio y oxígeno molecular. Debido a la mayor densidad del aluminio líquido respecto a la criolita, esta se traslada al fondo de la cuba, protegiéndose así de la oxidación a las altas temperaturas que se encuentra expuesta. El otro componente, el oxígeno, se queda en los electrodos de carbón, produciendo su combustión y por consiguiente, desprendiendo CO₂. El aluminio fundido es enfriado en moldes, generalmente con forma de lingotes, para ser vendidos. Debido a la alta temperatura que requiere el aluminio recién producido, se puede adaptar según las necesidades del cliente, para mejorar las propiedades mecánicas del material, con la ayuda de aditivos. Se puede también vender en forma de barras, preparadas para ser extruidas.

I. Introducción

I.5.3 TITANIO

Es un material caracterizado principalmente por su densidad baja y una alta resistencia a la rotura. Esto permite la fabricación de cuadros resistentes, a la vez que ligeros.

También cabe destacar su baja resistencia al impacto que tiene en comparación con la del acero, con lo que los tubos también tienen que ser un poco superiores en diámetro que los del acero.

Tienen buena resistencia a la corrosión y a la fatiga, por lo que es un material óptimo para realizar los cuadros de bicicleta. El problema del material, y por lo que su utilización es baja, es su precio elevado junto a su dificultad de mecanizar y soldar.

Proceso de fabricación de la materia prima:

Es un proceso muy costoso y con una dificultad elevada de extraer, ya que no se encuentra directamente en la naturaleza, sino que se encuentra en forma de óxidos, como son el rutilo y la ilmenita. A partir de estos óxidos se empieza el proceso de fabricación del titanio. El método Kroll es el proceso más empleado actualmente. Se compone de los siguientes pasos:

1. Producción del $TiCl_4$ a través de la cloración del óxido.
2. Se purifica la destilación del $TiCl_4$
3. Se produce titanio metálico mediante la reducción del $TiCl_4$ con Mg.
4. Los productos secundarios son eliminados por purificación
5. Se trocea el titanio con el fin de reducir su tamaño.

I.5.4. FIBRA DE CARBONO

La gran diferencia respecto de los materiales metálicos anteriores, es su estructura y la manera de ser fabricados. Es un material formado por gran cantidad de fibras de carbono, que se encuentran entrelazadas entre ellas, formando hilos. Estos hilos se unen entre si y forman, lo que se conoce por tela de fibra. Para formar el material compuesto, en el proceso de fabricación, las telas se combinan con resinas. El proceso

I. Introducción

para realizar una pieza, consta de un vaciado, adaptando las telas a un molde con la forma de la pieza, se elimina el aire y se compacta con la resina. A continuación, la fibra tiene que estar un tiempo, hasta su curación. Una vez curado el material, ya tenemos la pieza realizada y lista para ser usada. Este material compuesto, se caracteriza por su gran ligereza y su alta resistencia, dos de las características más buscadas a la hora de fabricar un cuadro.

Es un material que tiene propiedades muy parecidas al acero, pero con un peso que se aproxima a la madera o el plástico. Además, cuenta con una resistencia al impacto superior al acero.

El precio para realizar cuadros de bicicleta con este material es muy elevado, debido a su método de fabricación, que es muy laborioso, y el tiempo de producción es elevado en comparación con otros métodos de fabricación.

I.5.5 COMPARACION DE LAS PROPIEDADES

Hay que destacar los factores más importantes a la hora de elegir el material de nuestra bicicleta como son el tipo de uso que se le va a dar, el peso, el tiempo de uso y el presupuesto que tengamos.

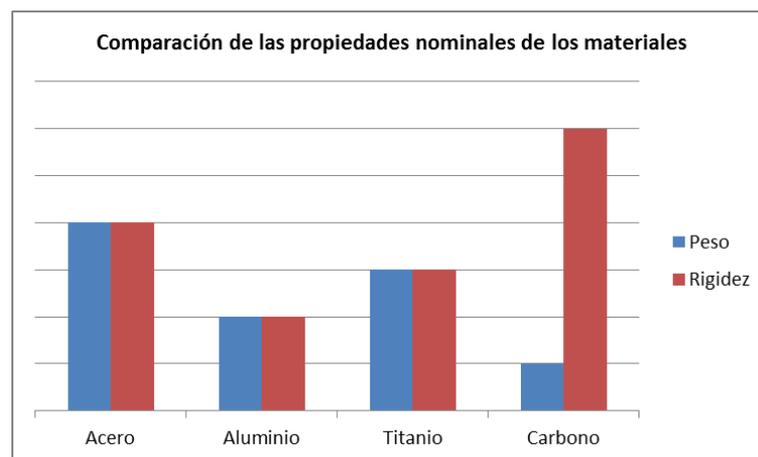


Figura I-29. Gráfico de comparación de las propiedades nominales de los materiales.

I. Introducción

Como podemos observar en la Figura I-29, el carbono es el material más idóneo para la fabricación de un cuadro de bicicleta. Es el material más rígido y menos pesado de los comparados. En cambio, un cuadro realizado de este material tiene un precio de mercado mucho mayor que los demás.

En cuanto a los materiales metálico, vemos como el aluminio es el material con menos peso, pero también con menos rigidez. Es el material más extendido en el mercado, por su relación calidad/precio. Con un buen diseño del cuadro de la bicicleta, se puede obtener una duración razonable para la mayoría de usuarios de bicicletas de montaña, teniendo un peso ligero.

También se observa como en los materiales metálicos, cuanto más pesado es, más rígido. Entonces, estas dos propiedades son un factor muy a tener en cuenta a la hora de diseñar un cuadro y con qué material fabricarlo, ya que, dependiendo del comprador, van a querer una característica u otra, en función de sus prioridades.

I. Introducción

II. OBJETIVOS

OBJETIVOS

II. Objetivos

II.1. OBJETIVO GENERAL.

El objetivo general del trabajo es el diseño y análisis de un cuadro de bicicleta de montaña general, para cumplir con la normativa vigente de requisitos de fabricación. Con el mismo diseño se realizará el análisis con diferentes materiales metálicos comunes en el sector. A partir del análisis y resultados obtenidos, se compararán los materiales en función de lo que el cliente busca a la hora de comprar un tipo de bicicleta como la estudiada.

II.2. OBJETIVOS PARTICULARES.

Para conseguir el objetivo del trabajo, se pretenden alcanzar los siguientes objetivos parciales, con el fin de conseguir el objetivo genérico:

- Conocer los materiales empleados por la industria en la fabricación de los cuadros de bicicleta.
- Estudios de la geometría de los cuadros y todos los parámetros que lo componen para realizar el diseño.
- Estudios de las normativas vigente para realizar los diferentes ensayos que tiene que cumplir el cuadro para ser fabricado con garantías.
- Diseño mediante del cuadro mediante el programa Solidworks.
- Ejecutar los diferentes ensayos bajo las condiciones de la normativa en el programa Solidworks.
- Comparación de los materiales empleados y los resultados obtenidos.

II. Objetivos

III. NORMATIVA APLICABLE

NORMATIVA

APLICABLE

III.3 NORMATIVA

Las normativas empleadas y seguidas en el trabajo para seguir en los diferentes ensayos realizados son normas de la UNE (acrónimo de Una Norma Española.) Los documentos normativos de la UNE son creados por la CTN (Comités Técnicos de Normalización) de la asociación UNE, antes llamada AENOR. Esta organización se reconoce tanto a nivel nacional como internacional. Sus documentos pueden ser totalmente nacionales o también se han podido realizar basándose en documentos de carácter internacional.

En concreto, para este proyecto nos hemos basado principalmente en la normativo UNE-EN ISO 4210-2:2015 y tiene el nombre de “*Ciclos. Requisitos de seguridad para bicicletas*”. Es una normativa traducida y adaptada de la Organización Internacional de Normalización, donde principalmente se establecen los diferentes requisitos de seguridad que tiene que cumplir una bicicleta de cualquier modalidad, que estará especificado dentro de la normativa. La normativa se divide en 9 partes:

- *Parte 1: Términos y definiciones*
- *Parte 2. Requisitos para bicicletas de paseo, para adultos jóvenes, de montaña y de carreras.*
- *Parte 3. Métodos de ensayo comunes.*
- *Parte 4. Métodos de ensayo de frenado*
- *Parte 5. Métodos de ensayo de la dirección*
- *Parte 6. Métodos de ensayo del cuadro y la horquilla.*
- *Parte 7. Métodos de ensayo para ruedas y llantas.*
- *Parte 8. Métodos de ensayo de los pedales y del pedalier.*
- *Parte 9. Métodos de ensayo de los sillines y puestos de asiento.*

En concreto para el trabajo vamos a emplear la parte 1, para los términos y las definiciones de los ensayos. La parte 2, que define los requisitos que el cuadro tiene que cumplir en los diferentes ensayos. La parte 3, generalmente para definir la frecuencia máxima con la que realizar los ensayos. La parte 6, del cual se sigue como realizar los diferentes ensayos a fatiga que vamos a realizar.

IV. FATIGA

FATIGA

IV.1. INTRODUCCIÓN A LA FATIGA

La fatiga de los materiales es conocida por la rotura de un material a causa de estar sometida a una serie de cargas de manera cíclica. Esta rotura es más fácil que se produzca que si está sometido a cargas estáticas. Es un fenómeno que se empezó a estudiar con la llegada de la revolución industrial, en la que se empezaron a someter a los materiales a fuerzas repetitivas, que estas, eran capaces de romper el material, siendo la fuerza menor que en los estudios estáticos.

La aplicación de las cargas de manera repetitiva puede llegar a romper el material, siendo estas cargas muy menores a la tensión de rotura o límite elástico del material. Esto es debido a que, cada vez que se aplica la fuerza sobre el material, este sufre daños y se va deteriorando con el paso de los ciclos repetitivos de las cargas. Este daño se va acumulando y provoca la rotura final del material.

La rotura del material se empieza a observar con la aparición de grietas, que van siendo cada vez mayores con el paso del tiempo y la aplicación de las fuerzas. Es un fenómeno que se puede estudiar con el análisis de fatiga estructural, el cual hoy en día es capaz de desarrollar un programa CAD como el Solidworks. El programa muestra unos resultados, que te dice el número de ciclos que el sólido con el material aplicado, puede soportar con las condiciones y cargas que le queramos aplicar, además de los ciclos. Estos ciclos, el material los soporta sin la aparición de ninguna grieta. El número de ciclos para que ocurra el fallo, va a estar directamente relacionado con el material y de las cargas alternas con su fluctuación. Para calcular estos ciclos, el programa se basa en las curvas S-N del material específico.

Hay varias definiciones que se deben comprender a la hora de entender el fenómeno de la fatiga:

- El **límite de resistencia o a fatiga**, es la tensión alterna más elevada que no llega a provocar la rotura por fatiga del material. Se dice que un material tiene vida

IV. Fatiga

infinita cuando la cantidad de ciclos que se aplica, la fuerza es tan grande, que no llega a romper el material con esa tensión aplicada.

- La **resistencia a fatiga** es la tensión a la que se produce la rotura del material después de una cantidad de ciclos determinados.
- Las tensiones aplicadas sobre el material tienen una **tensión media** y una **tensión alterna** que se calculan de la siguiente manera:

$$S_m = \frac{(\sigma_{max} + \sigma_{min})}{2}$$

$$S_a = \frac{(\sigma_{max} - \sigma_{min})}{2}$$

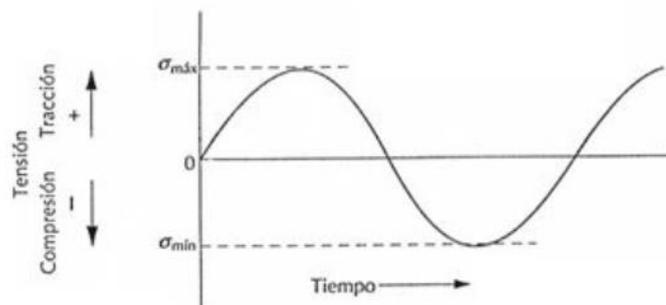


Figura IV-1. Ciclo de carga

La diferencia principal entre un estudio estático y dinámico, principalmente es la manera de aplicar las fuerzas en el tiempo. En el estudio estático, no se predice los fallos por fatiga, sino que los resultados marcan si un sólido es seguro o no, en función de que el resultado sea menor al nivel admisible del material. Las tensiones en estos ensayos se aplican de manera constante en el tiempo. Sobre todo, se tiene en cuenta el límite elástico y los desplazamientos. En cambio, en el estudio dinámico, en concreto el de fatiga, se estudia la resistencia y duración de un material, sometido a estas cargas de manera repetitiva y variando en función del tiempo.

IV. Fatiga

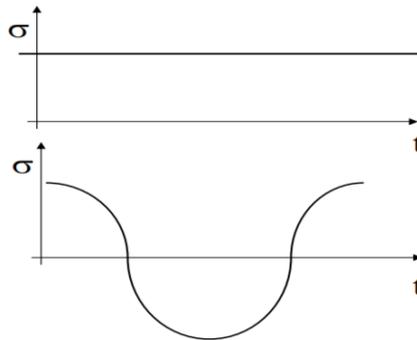


Figura IV-2. Diferencia de gráficas de las tensiones en función del tiempo entre un estudio estático y un estudio dinámico

Cabe destacar que, para realizar un ensayo a fatiga, este tiene que ir posterior a un ensayo estático de la pieza que se quiera estudiar. En el ensayo estático se definirán las condiciones de contorno y las cargas aplicadas, con lo que se obtienen las tensiones. A continuación, se realiza el ensayo a fatiga, definiendo los sucesos en base al estudio estático.

IV. 2. ROTURA POR FATIGA

La rotura por fatiga de un material empieza por la superficie de la misma, con lo que se puede alargar la vida a fatiga del material, con un tratamiento sobre la superficie de la pieza, ya sea térmico o mecánico.

La rotura del material sigue una serie de etapas sobre la pieza, en las cuales se propaga la grieta. Estas etapas son las siguientes:

- Inicio: Las grietas que aparecen sobre la pieza, empiezan en la mayoría de los casos, sobre la superficie de la misma, ya que se producen concentraciones de tensión. Las cargas que se aplican de manera repetida, cabe la posibilidad de que produzcan en la superficie una serie de discontinuidades que se producen por deslizamiento de dislocaciones, que hacen la función de concentrador de tensión, y es un punto óptimo de que se produzca una grieta.

IV. Fatiga

- Propagación: Una vez producida la grieta sobre la superficie del material, estas crecen con la aplicación de las cargas. Pueden llegar a crecer de manera muy rápida y producir la rotura por muy pequeña que sea la grieta y no se pueda observar a primera vista.
- Rotura: El material con el crecimiento de la grieta, llega un punto en el que no puede soportar las cargas cíclicas y rompe.

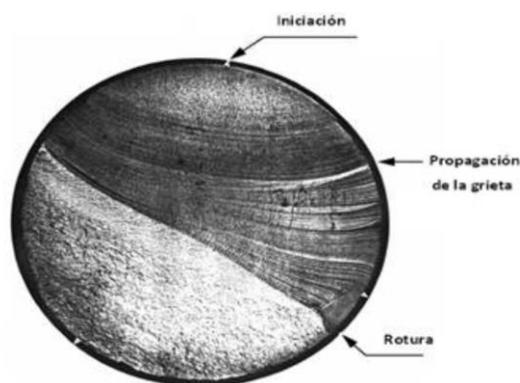


Figura IV-3. Etapas hasta la rotura de un material a causa de la fatiga

IV.3. CURVAS S-N

Para definir los valores de tensión que rompen determinado material con un número de ciclos, se realizan las curvas S-N. Son curvas sacadas mediante una serie de pruebas que se le somete a una probeta del material que se quiera estudiar. El ensayo más sencillo para realizar la prueba se le llama “ensayo de viga rotatoria” y se realiza con la máquina de Moore. Las probetas son de sección circular y se someten a un momento flector constante. Con este giro se consigue que un punto determinado de la probeta este sometido a una carga alternante constante y se registran el número de ciclos hasta que rompa.

IV. Fatiga

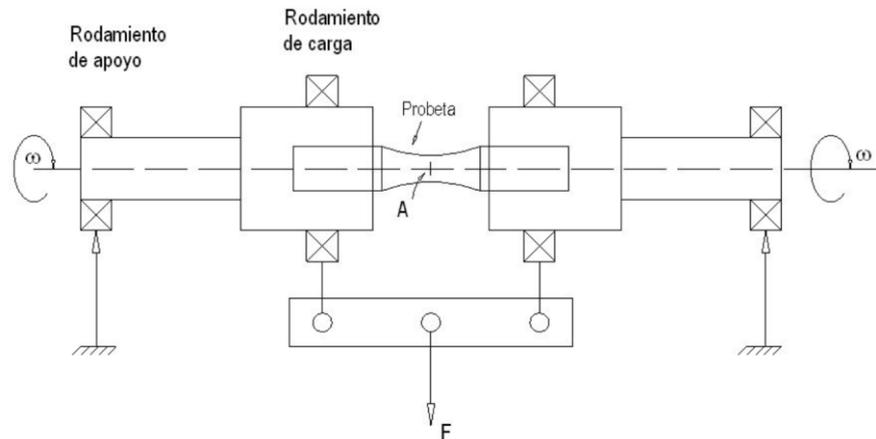


Figura IV-4. Máquina de Moore para realizar un ensayo de fatiga con una probeta.

Se realizan varios ensayos, siempre siendo el siguiente con un valor de tensión menor al anterior (σ_{out}), hasta que se consigue que el material aguante 10^6 ciclos. Cuando supera este número de ciclos, es que el material no supera el límite de fatiga y tiene una vida infinita.

Toda la prueba está realizada con unas condiciones muy concretas, como el diámetro, la superficie pulida de la probeta y la temperatura ambiente.

Una vez se tienen todos los datos, con ellos se realiza la curva S-N característica del material de los que se pueden observar los valores a tener en cuenta como son el límite a fatiga a partir de 10^6 ciclos de aplicación de la fuerza, y también la tensión alterna de rotura a unos ciclos determinados. Estas tensiones de rotura forman la curva S-N, como, por ejemplo, la que se aprecia en la Figura IV.5.

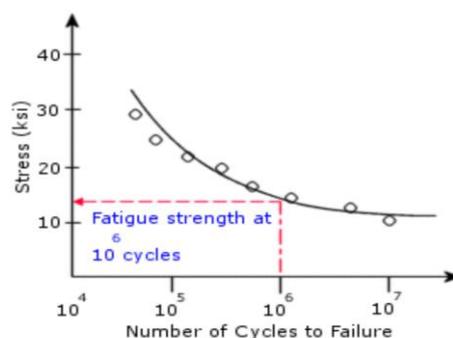


Figura IV-5. Ejemplo de curva S-N del solidworks empleando logaritmo en base 10.

IV. 4 FACTORES QUE MODIFICAN EL LIMITE A FATIGA

Estos datos y curvas son válidas para una pieza que esté sometida a las mismas condiciones que la probeta del ensayo. Pero si las condiciones cambian, estas ya no son del todo válidas y hay que tener en cuenta las características de la pieza a la que queramos someter a un ensayo de fatiga.

Para ello se ha desarrollado de manera empírica unos factores que adaptan de la manera más real posible, el comportamiento de la pieza ensayada en relación a la pieza real. Estos factores se conocen como factores de corrección del límite de resistencia a la fatiga.

La fórmula para deducir el nuevo límite de fatiga del material es el siguiente:

$$S_e = S_e' \times K_a \times K_b \times K_c \times K_d \times K_e \times K_f$$

donde:

S_e : Límite de fatiga corregido

S_e' : Límite de resistencia a fatiga de probetas

K_a : el el factor que depende del acabado superficial.

K_b : es el factor que depende del tamaño y de la geometría.

K_c : factor de carga

K_d : factor de temperatura

K_e : factor de confiabilidad

K_f : factor de efectos varios

IV.5 CRITERIOS DE FALLO.

Cuando la tensión media a la que está sometido la pieza es no nula, se emplean varios métodos de análisis. Esto se emplea debido a que los únicos datos que tenemos acerca de un material sometido a fatiga, son sacados del ensayo citado anteriormente, y la tensión media en el ensayo es nula.

Hay que destacar que cuando la tensión media sea nula, si se emplean estos métodos, los resultados que se obtendrían no se verían alterados.

Los tres criterios de fallo conforman la gráfica de la Figura IV.6.

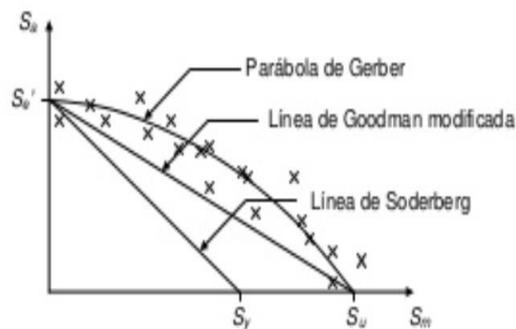


Figura IV-6. Diagrama de los tres criterios de fallo a fatiga.

En los casos que en la tensión media no sea nula, se emplean los diferentes criterios:

- **Criterio de Gerber.**

Es una parábola que está conformada por la ecuación siguiente:

$$1 = \left(\frac{Sm}{Su}\right)^2 + \left(\frac{Sa}{Se'}\right)$$

Este criterio de fallo tiene una confiabilidad de 50% aproximadamente. Es el criterio menos conservador de los tres, ya que tiene un mayor número de puntos por debajo de la línea que el resto.

IV. Fatiga

- **Criterio de Goodman**

Este criterio conforma una recta que corta los ejes con los mismos puntos que lo hace el criterio de Gerber. Se conforma de la siguiente ecuación:

$$1 = \frac{Sm}{Su} + \frac{Sa}{Se'}$$

Es una aproximación menos exacta que la de Gerber, pero resulta más conservadora y es más sencilla de realizar. Es el criterio más empleado para los estudios a fatiga de un diseño, y es el que hemos empleado en los ensayos realizados con el programa Solidworks del presente trabajo.

- **Criterio de Soderberg**

Es un criterio que también forma una línea, pero a diferencia de la de Goodman, esta pasa por el punto S_y . Esto quiere decir, que emplea el criterio de resistencia de fluencia y no la de rotura. Por lo tanto, solo se va a poder aplicar para los materiales que tengan límite de fluencia. Es el criterio más conservador de los tres. Se realiza con la siguiente ecuación:

$$1 = \frac{Sm}{S_y} + \frac{Sa}{Se'}$$

De esta manera con el empleo de este criterio se previene cualquier fallo de fluencia que pueda sufrir el material.

IV. Fatiga

V. GEOMETRIA

GEOMETRIA

V. Geometría

V.1. BIOMECÁNICA

Con el fin de seguir unos estándares de fabricación, las marcas de bicicletas establecen unas medidas estándar que son clasificadas en diferentes tallas, según las necesidades del cliente. Esto facilita y abarata mucho la producción en serie, con lo que se consiguen mejores precios para el cliente. Dependen de unas medidas del usuario concretas, marcadas en la normativa UNE-EN ISO 7250-1 *“Definiciones de las medidas básicas del cuerpo humano para el diseño tecnológico.*

Las medidas a tener en cuenta y que se realizan mediciones al usuario, principalmente son:

- **Altura Corporal:** La medición se realiza sin calzado, y va desde la clavícula hasta la planta del pie.
- **Longitud de piernas:** La medida se realiza desde la entretierna hasta la planta del pie.
- **Longitud de brazos:** Se realiza la medición desde encima de la articulación del hombro hasta el centro de la palma de la mano.

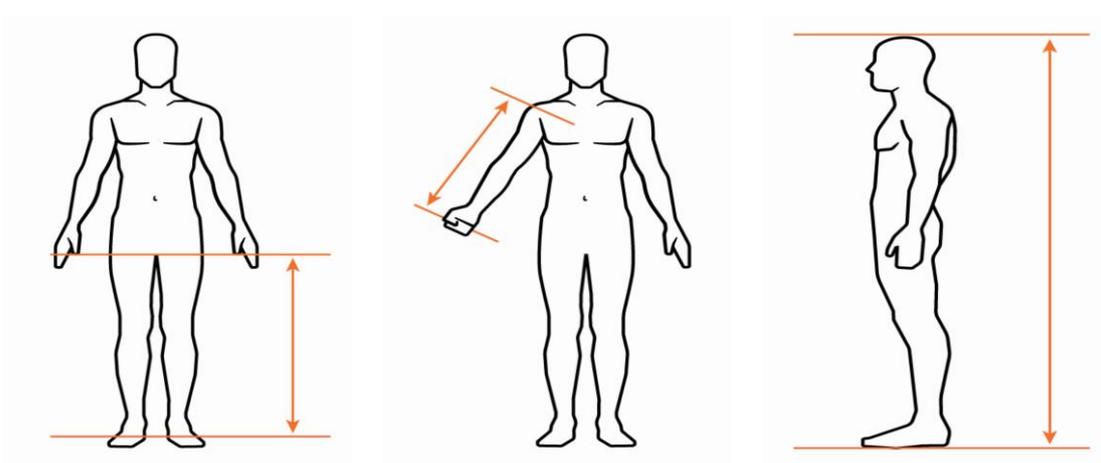


Figura V-1. Longitud de piernas

Figura V-2. Longitud de brazos

Figura V-3. Altura corporal

Con estas medidas, el usuario elige la talla de la marca que más se acople a él, y de esta manera se aumenta la comodidad y el rendimiento que puede obtener con ella, entre otros factores.

V. Geometría

En cambio, también existen marcas que son capaces de realizar y fabricar bicicletas únicas y personalizadas para cada cliente. Es un proceso que implica un elevado coste, ya que tu bicicleta es fabricada exclusivamente para una persona, con lo que el precio de venta aumente considerablemente.

Para establecer la geometría del cuadro de bicicleta, hemos empleado como guía las siguientes medidas de las diferentes tallas de la marca Van Nicholas. Cabe destacar que, de una marca a otra, estas pueden variar ligeramente.

FIT CHART						
HEIGHT (IN)	5'0" - 5'4"	5'3" - 5'7"	5'6" - 5'10"	5'9" - 6'1"	6'0" - 6'4"	6'3" - 6'6"
HEIGHT (CM)	152 - 163	160 - 170	168 - 178	175 - 185	183 - 193	191 - 200
XS						
S						
M						
ML						
L						
XL						

Figura V-4. Estándares de tallas de la marca Van Nicholas

Para el diseño de la bicicleta del presente trabajo, se escoge la talla M, correspondiente a una persona de 174 cm. Una medida bastante estándar, teniendo en cuenta que se trata de la medida de altura media de los españoles.

V.2 MEDIDAS DEL DISEÑO

Se empiezan a definir los diferentes ángulos que tiene el cuadro y los efectos que tienen estos sobre el comportamiento de la bicicleta.

- **Angulo de la dirección.**

Es uno de los ángulos más importantes para el comportamiento de la bicicleta. Dependiendo del mismo va a influir la rapidez de los movimientos, es decir, si es nerviosa o estable y que se pueda girar más rápidamente. Cuanto más se acerque el ángulo a 90 grados, más nerviosa y ágil será la bicicleta. Cuanto menor sea el ángulo, más dócil y estable será, y tenderá a corregir la trayectoria y enderezar la dirección. Se coge un ángulo habitual que suelen utilizar los fabricantes para bicicletas de trail, que son 73°.

- **Angulo del sillín.**

Va a determinar la posición en que nos sentamos respecto al eje de pedaliar. El ángulo se mide desde la línea horizontal paralela al suelo y el tubo del sillín. Este va a influir en la manera de aplicar la fuerza a los pedales y en el reparto de los pesos. Este ángulo, cuanto más se acerque al ángulo recto, quiere decir que el ciclista estará más lejos del eje de la rueda trasera, lo que se traduce en obtener más velocidad, porque la fuerza se transmite más rápidamente a los pedales, pero esto supone a la vez tener menos par de tracción, lo que perjudica a una bicicleta de MTB.

En cambio, con un ángulo menor, se realiza el fenómeno de la palanca y dispondremos de una mayor tracción. También se puede ajustar, en pequeñas proporciones, modificando la longitud del sillín y de esta manera, se mejora el pedaleo.

Este ángulo, suele estar entre los 72 y 74 ° para la modalidad de montaña, por lo que para nuestra geometría de cuadro vamos a realizarlo con 73°.

V. Geometría

- **Angulo de potencia.**

Es el ángulo formado entre la potencia y la horizontal. Va a determinar la altura del manillar. Cuanto mayor sea el ángulo, más cómoda será y más erguido se puede ir. En cambio, cuanto menor sea el ángulo, mayor acoplamiento puede tener la bicicleta con tu postura y conseguir una mayor aerodinámica. El ángulo menor se utiliza muy frecuentemente en competición para sacrificar comodidades por tener un mayor rendimiento. Según las necesidades del ciclista, modelo y disciplina, se ajusta este ángulo, que suele estar comprendido entre 6° y 17° . Este ángulo no lo vamos a utilizar en el proyecto ya que no forma parte del cuadro.

- **Avance de la horquilla.**

Corresponde a la distancia entre el eje de la pipa de dirección y el eje de la rueda delantera. Cuanto mayor sea la distancia entre ejes, mayor capacidad de absorción tendrá la horquilla, por tanto, mejor absorberá las irregularidades del terreno. La medida más habitual es de 4,5 cm.

- **Avance de la dirección.**

Es la distancia que hay entre la línea que trazaremos desde el eje de giro de la horquilla hasta el suelo con otra línea trazada desde el eje de la rueda delantera hasta el suelo. De esta longitud va a depender la facilidad de maniobrar la bicicleta. Cuanto mayor sea esta distancia, más lenta reacciona, pero es más estable, en cambio, a menor distancia tendremos mayor reacción en todos los movimientos y menor estabilidad, con lo que tendremos una bicicleta más nerviosa. Esta distancia se puede ver afectada por los ángulos de dirección, el avance de la horquilla y el tamaño de la rueda.

V. Geometría

- **Longitud de las vainas traseras.**

Es la distancia entre el eje del pedalier y el eje de la rueda trasera. Esta distancia está directamente relacionada con el ángulo del sillín, ya que cuando más corta sea esta longitud, mayor será el ángulo.

Cuanto mayor sea la longitud de las vainas, mayor será la estabilidad de nuestra bicicleta. En cambio, a una menor longitud, tendremos más potencia y tracción en la rueda trasera, pues la fuerza que ejercemos será mayor sobre esta y más directa, al sentarnos más cerca. La longitud más habitual se encuentra alrededor de 40 cm

- **Longitud del tubo horizontal superior.**

Es la longitud entre el eje de la tija del sillín y el eje de la dirección. Cuanto mayor sea la longitud de este tubo, a más distancia nos sentaremos respecto a la dirección, lo que nos permite ir más extendidos sobre la bicicleta. Por tanto, mayor será el reparto de masas lo que supone una mayor estabilidad, aunque se pierda comodidad.

- **Altura eje del pedalier.**

Distancia entre el suelo y el centro del pedalier. Esta altura es importante para que los pedales no choquen contra los saltos que nuestra bicicleta pueda dar en unos terrenos inestables. Cuanto menor sea la distancia, mayor control de la bicicleta tendremos debido a que bajamos el centro de gravedad del ciclista con respecto de la bicicleta, pero hay que ir con precaución de no tocar los pedales con el suelo en las curvas.

V. Geometría

V.3. GEOMETRIA DEL DISEÑO FINAL

La geometría del diseño final está basada principalmente en la talla elegida anteriormente en el apartado III.1. Biomecánica. Se trata de la talla M de la marca Van Nicholas y consta de las siguientes medidas.

	Medidas
Tamaño efectivo del marco	483 mm
Tubo del sillín	483 mm
Tubo del sillín	418 mm
Tubo superior	585 mm
Angulo de dirección	71º
Tubo de dirección	125 cm
Vainas	430 cm
Angulo del tubo del sillín	73º
Batalla	1091 cm
Caída del eje del pedaliar	40 cm
Avance de la horquilla	41 mm

Tabla V-1. Medidas de los diferentes tubos y ángulos del diseño de la bicicleta final.

Es importante destacar, que las medidas han podido variar, de manera mínima, para que el comportamiento de la bicicleta sea lo más adecuado posible al usuario. Estas modificaciones han sido efectuadas por tema de diseño y análisis, para optimizar el modelo y cumplir de esta manera con los diferentes ensayos estudiados en el trabajo.

Tubos	Espesor (mm)
Tubo superior	6
Tubo inferior	5
Telescopio	5
Tubo del asiento	3

Tabla V-2. Espesores de los diferentes tubos del cuadro

Por último, se va a especificar la geometría del tubo inferior, que, al tratarse de una función de barrido, no se puede especificar con claridad en los planos.

V. Geometría

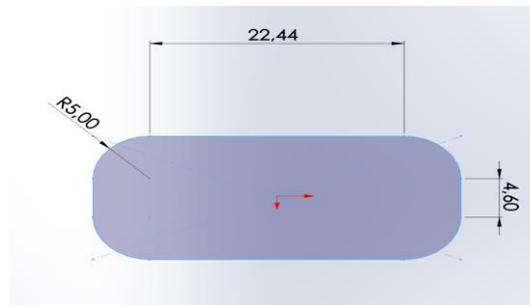


Figura V-5. Geometría del final del comienzo del tubo inferior desde el telescopio.

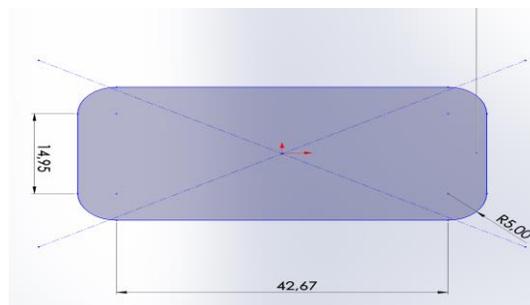


Figura V-6. Geometría del comienzo del tubo inferior desde el eje del pedalier.

VI. DISEÑO Y ANÁLISIS

DISEÑO Y ANÁLISIS

VI. Diseño y Análisis

VI. Diseño y Análisis

VI.1. DISEÑO DEL CUADRO.

Para el diseño del cuadro, se emplea el programa Solidworks. Para ello, en primer lugar, realizaremos el croquis.

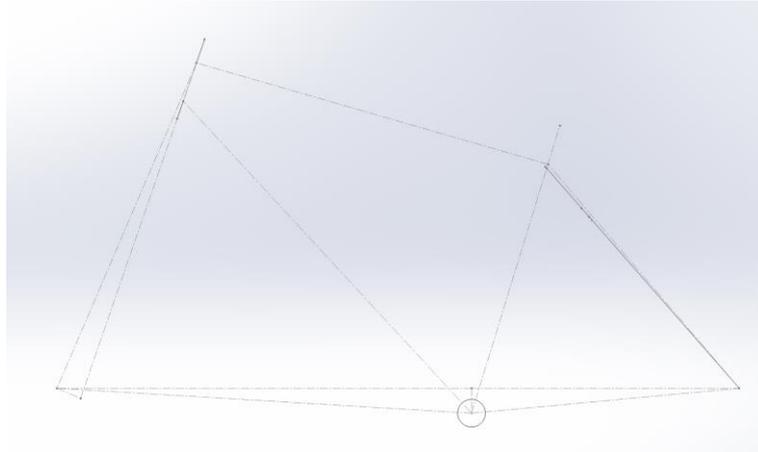


Figura VI-1. Croquis realizado con el programa Solidworks

Una vez el croquis se ha realizado, empleando la función de cota inteligente para que todas las medidas sean las correctas, se pasa a darle volumen. Para ello se emplean las funciones de "Barrer" para aquellos tubos que tengan una forma constante a lo largo de todo su recorrido. Y para los tubos que tengan variación de forma y radio, como el eje de dirección, empleamos la función de "Recubrir".

En cuanto a las vainas, se emplea la función de "Simetría" para a partir de un croquis y una extrusión de la misma, se realice de la misma manera la otra vaina que faltaría.

VI. Diseño y Análisis

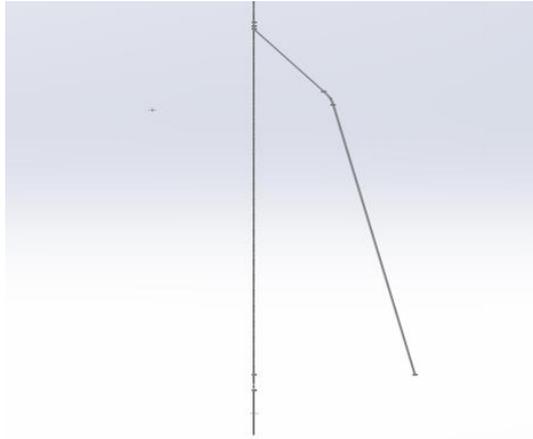


Figura VI-2. Croquis de la vaina izquierda

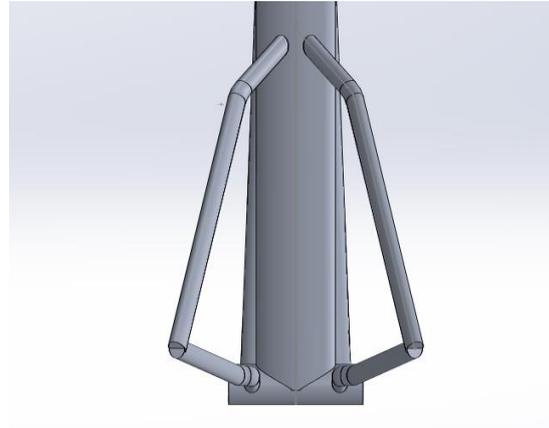


Figura VI-3. Extrusión de la vaina derecha mediante la función de "simetría".

Por último, una vez tengamos todos los tubos extruidos mediante las funciones nombradas anteriormente, se realizan los redondeos a las aristas correspondientes.

El sólido del cuadro de bicicleta ya estaría diseñado y preparado para realizar las diferentes simulaciones.



Figura VI-4. Sólido final del cuadro de la bicicleta.

VI.2. ANÁLISIS

En el siguiente apartado se van a exponer los diferentes ensayos de la normativa AENOR para los cuadros de bicicletas, y los vamos a simular con un programa de elementos finitos. Nos vamos a centrar en los tres ensayos principales de fatiga dentro de la normativa, pero en ella existen más tipos de ensayo, que no vamos a realizar en el proyecto, como puede ser el ensayo de choque. Todos estos ensayos y requisitos para realizarlos se encuentran en el documento de la normativa UNE-EN ISO 4210, con título "*Ciclos, Requisitos de seguridad para bicicletas*". La normativa empleada para seguir la manera de realizar los ensayos es la parte 6 "*Métodos de ensayo del cuadro y la horquilla*".

El software elegido para realizar las simulaciones de los diferentes ensayos, al igual que para realizar el sólido de la pieza a estudiar, es el SOLIDWORKS, ya que nos parece de los más adecuados, por su uso en la industria y por qué aplica el método de cálculo por elementos finitos. Con la versión de estudiante proporcionada por la UPV tenemos las herramientas necesarias para realizar los estudios al completo y sin ninguna restricción.

El método de elementos finitos o MEF, han sido ideados para emplearlos en programas de cálculo, como el Solidworks. El método es capaz de resolver ecuaciones diferenciales de un problema físico definido sobre una geometría compleja. Estos cálculos de manera analítica no se podrían obtener y menos con la facilidad con que lo hace un programa.

La geometría estudiada es partida en nodos, que permiten sacar la solución numérica del problema. Estos nodos, en su conjunto, son llamados "*malla*" en el programa, y cuanto menor sea el nodo, por tanto, mayor cantidad de nodos tengamos en un mismo sólido, más aproximado será el resultado obtenido. También tener mayores números de nodos implica un mayor tiempo de obtención de la solución.

Para realizar los ensayos de fatiga, primero se tiene que realizar un ensayo estático del cuadro, para introducir las cargas y los apoyos necesarios, así como para

VI. Diseño y Análisis

sacar algunos parámetros que vamos a estudiar a continuación como la Tensión de Von Mises y el factor de seguridad.

Con el previo ensayo a fatiga realizado, se simula el ensayo a fatiga, introduciendo los ciclos de carga correspondientes para cada tipo de ensayo según la normativa especificada.

Se va a realizar ensayos con los tres materiales metálicos más empleados en la industria del ciclismo. Hay que resaltar que la fibra de carbono, material compuesto, también se encuentra entre estos materiales, pero no está tan implementado en el programa utilizado y por lo tanto no se pueden realizar aun simulaciones de fatiga con este material.

Destacar que los ensayos han sido realizados sin una simulación de horquilla sólida, que ha sido reemplazada por un desplazamiento remoto, donde se ubicaría el eje de la rueda en la misma horquilla. Esto es posible realizarlo, ya que la horquilla, según la normativa, tiene que estar rígida y no funciona como tal, sino que es un elemento que se emplea para poder realizar un ensayo correctamente sobre un banco y tener la sujeción delantera del cuadro como en la realidad.

Para saber si un ensayo ha cumplido con la normativa, nos vamos a los puntos definidos en la parte 2 de la normativa Requisitos para bicicletas de paseo, para adultos jóvenes, de montaña y de carreras." En el ensayo se tienen que cumplir los requisitos de la normativa: superar el número de ciclos propuestos por ensayo y para evitar la rotura tampoco se deberá sobrepasar el límite elástico del material.

En cuanto al factor de seguridad, el valor va a depender de cada material debido a que cada uno tiene su límite elástico. Vamos a tomar de referencia un factor de seguridad de 1,4 para que cumpla con creces las exigencias y no rompa. Se realizan los siguientes cálculos para cada uno de los materiales. La ecuación para sacar el factor de seguridad está compuesta por el límite elástico del material (σ_y), el valor de la tensión válida en el ensayo (σ_{adm}), y el factor de seguridad (n).

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_y}{n}$$

VI. Diseño y Análisis

Material	Limite elástico	Resultado con factor de seguridad
Aluminio T6	275 Mpa	196,42 Mpa
Acero	460 Mpa	328,57 Mpa
Titanio	620 Mpa	442,85 Mpa

Tabla VI-1. Limite elástico y factor de seguridad para cada material empleado en los ensayos a fatiga.

VI.1.1. SELECCIÓN DE MATERIALES.

En cada ensayo que vamos a realizar, tenemos que introducir el material con el que queramos fabricar nuestra pieza y simular de esta manera su comportamiento. Para ello, dentro del mismo programa, hay una biblioteca de materiales con sus características ya introducidas. El aluminio 6061 T-6 y el acero 4130 lo hemos podidos extraer de la misma biblioteca. Pero, para el Titanio Ti-3Al-2.5V se ha tenido que crear un nuevo material e introducir todos los datos del material necesarios como muestra la Figura VI-7. Es importante asegurar que cada simulación realizada se compruebe el material seleccionado para obtener los resultados correctos, tanto en los ensayos estáticos para las propiedades de los materiales, como para los ensayos dinámicos para las curvas S-N del material.

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	69000.00067	N/mm ²
Coefficiente de Poisson	0.33	N/D
Límite de tracción	310.0000021	N/mm ²
Límite elástico	275.0000009	N/mm ²
Módulo tangente		N/mm ²
Coefficiente de expansión térmica	2.4e-05	/K
Densidad de masa	2700	kg/m ³
Factor de endurecimiento	0.85	N/D

Figura VI-5. Propiedades del aluminio 6061 T-6 de la biblioteca de Solidworks.

VI. Diseño y Análisis

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	205000	N/mm ²
Coefficiente de Poisson	0.285	N/D
Módulo cortante	80000	N/mm ²
Densidad de masa	7850	kg/m ³
Límite de tracción	731	N/mm ²
Límite de compresión		N/mm ²
Límite elástico	460	N/mm ²
Coefficiente de expansión térmica		/K
Conductividad térmica	42.7	W/(m·K)

Figura VI -6. Propiedades del material Acero 4130 de la biblioteca de Solidworks

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	100000	N/mm ²
Coefficiente de Poisson	0.37	N/D
Módulo cortante	44000	N/mm ²
Densidad de masa	4490	kg/m ³
Límite de tracción		N/mm ²
Límite de compresión		N/mm ²
Límite elástico	620	N/mm ²
Coefficiente de expansión térmica		/K
Conductividad térmica	7.7	W/(m·K)

Figura VI-7. Propiedades del material Ti-3Al-2.5V. Material creado de nuevo para la base de datos del Solidworks.

VI. Diseño y Análisis

VI.3. ENSAYO A FATIGA CON FUERZAS HORIZONTALES.

VI.3.1. ESTUDIO DEL ENSAYO

En primer lugar, para realizar correctamente el ensayo, se comprueba que los ejes traseros y delanteros del cuadro estén alineados en el plano horizontal.

En cuanto a las **condiciones de apoyo**, el cuadro se bloquea por las punteras traseras, de tal forma que quede libre la rotación en el eje Y. Respecto al eje delantero, se trata de un rodillo que permite desplazarse libremente por el eje longitudinal bajo el efecto de las fuerzas aplicadas.

La **carga aplicada** en este ensayo se realiza en el eje de la horquilla de manera horizontal, con una fuerza de 1200 N para adelante y 600 N para atrás durante 50000 ciclos según la Figura VI-8 de la normativa.

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
Ciclos de ensayo, C_1	100 000	100 000	50 000	100 000

Figura VI-8. Cargas a aplicar en el ensayo de fatiga con fuerzas verticales según la normativa ISO 4210-6. Las unidades de las cargas son Newton.

VI. Diseño y Análisis

El conjunto final del ensayo quedaría como en la Figura VI-9 de la normativa del ensayo.

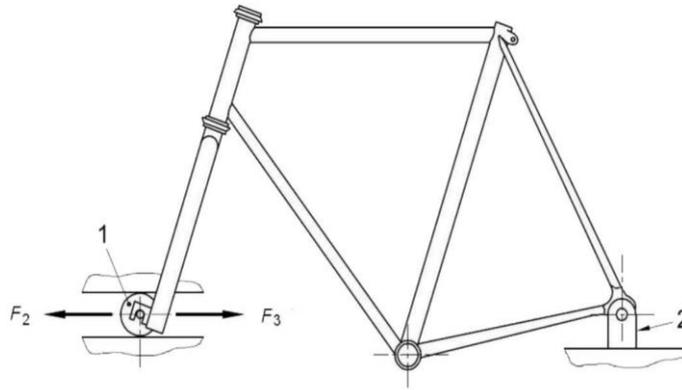


Figura VI-9. Conjunto de ensayo de fatiga con cargas horizontales según la normativa ISO 4210-6

VI.3.2. DEFINICIÓN DE LAS CARGAS Y CONDICIONES DE CONTORNO

VI.3.2.1. ESTUDIO ESTÁTICO

Una vez estudiado el ensayo propuesto por la normativa se procede a exponer las diferentes condiciones en el programa quedando el primer estudio estático como en la Figura VI-10.

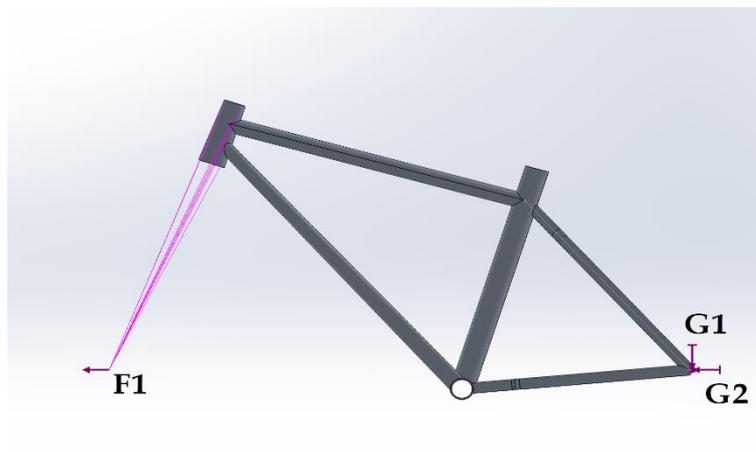


Figura VI-10. Condiciones del ensayo de fatiga con cargas horizontales en Solidworks

VI. Diseño y Análisis

Donde:

- F1 es la fuerza de 1200 N.
- G1 y G2 son los apoyos de las punteras traseras.

Las fuerzas y apoyos del cuadro de bicicleta se ponen a la distancia correcta respecto al punto de origen del diseño y a la distancia que marca la normativa.

Para las cargas se pondrá la distancia y la fuerza en el sentido correcto. También es importante seleccionar la cara de la pieza que va a ser sometida por la fuerza.

En cuanto a los desplazamientos, se selecciona la cara que queremos que esté sujeta bajo unas condiciones de traslación y de rotación, en función de la normativa.

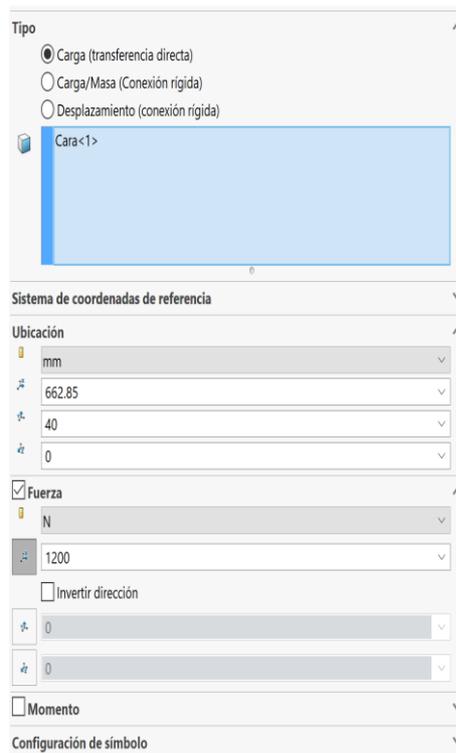


Figura VI-11. Carga remota de la fuerza horizontal en el ensayo de fatiga con cargas horizontales en Solidworks.

VI. Diseño y Análisis

Tipo

- Carga (transferencia directa)
- Carga/Masa (Conexión rígida)
- Desplazamiento (conexión rígida)

Cara<1>
Cara<2>

Sistema de coordenadas de referencia

- Global
- Definido por el usuario

Ubicación

mm

X: -432.96

Y: 67.5

Z: 0

Traslación

mm

X: 0

Invertir dirección

Y: 0

Invertir dirección

Z: 0

Invertir dirección

Rotación

deg

X: 0

Invertir dirección

Y: 0

Invertir dirección

Z: 0

Invertir dirección

Figura VI-12. Desplazamiento remoto para las vainas traseras en el ensayo de fatiga con fuerzas horizontales.

Tipo

- Carga (transferencia directa)
- Carga/Masa (Conexión rígida)
- Desplazamiento (conexión rígida)

Cara<1>

Sistema de coordenadas de referencia

- Global
- Definido por el usuario

Ubicación

mm

X: 662.85

Y: 40

Z: 0

Traslación

mm

X: 0

Invertir dirección

Y: 0

Invertir dirección

Z: 0

Invertir dirección

Rotación

Figura VI-13. Desplazamiento remoto en simulación del rodillo para el ensayo de fatiga con cargas horizontales.

VI. Diseño y Análisis

VI.3.2.2. ENSAYO DE FATIGA

A continuación, se indican las condiciones para realizar el ensayo de fatiga, donde vamos a establecer el número de ciclos que se tiene que aplicar la fuerza. También es importante hacer una relación de posición de la carga aplicada, ya que tenemos que hacer que la misma se aplique 1200 N para adelante con un retorno de -600 N. Un ciclo se realiza cuando la fuerza aplica 1200 en el sentido positivo del eje X, retorna con -600 en el sentido negativo y llega a 0. Se le impone a la carga una relación de posición de -0,5 para que realice este movimiento en el sentido negativo. Se aplica en la simulación como en la Figura VI-14.

El ciclo de carga que realiza se muestra en la Figura VI-15.



Figura VI-14. Establecimiento de suceso de carga en Solidworks para cumplimentar con la normativa en el ensayo de fatiga.

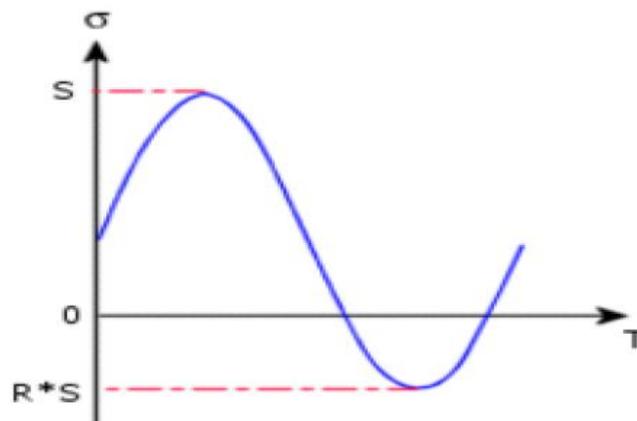


Figura VI-15. Gráfica de la función "relación de carga" en Solidworks

VI.3.3 RESULTADOS OBTENIDOS

Para realizar el estudio estático de la pieza, una vez puestas todas las condiciones de contorno y las cargas, se procede a realizar la malla, lo más fina que se pueda realizar con nuestro ordenador, de esta manera obtener unos resultados más exactos. Hay que buscar un equilibrio también en el tiempo empleado para obtener los resultados, ya que, a menor tamaño de elementos, mayor tiempo que emplea el programa para sacar los resultados. Por tanto, se tiene que realizar siempre con el mallado que consideremos que los resultados nos resulten válidos para nuestros ensayos. En nuestro caso, hemos empleado la malla más fina que nos permite el programa, debido a que no era excesivo el tiempo que empleamos para sacar los resultados. La pieza mallada se queda como en la Figura VI-16.

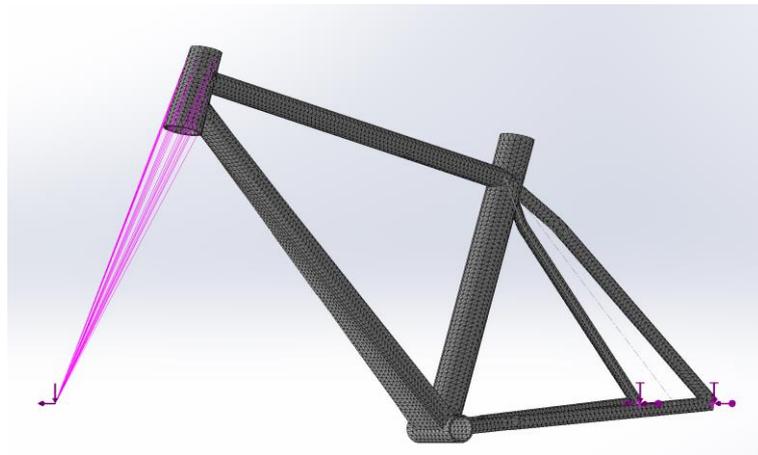


Figura VI-16. Cuadro de bicicleta mallado.

Una vez nuestra pieza ya se encuentra mallada y lista para ser analizada, se ejecuta el ensayo y se obtienen los siguientes resultados:

VI. Diseño y Análisis

VI.3.3.1 ALUMINIO 6061 T-6

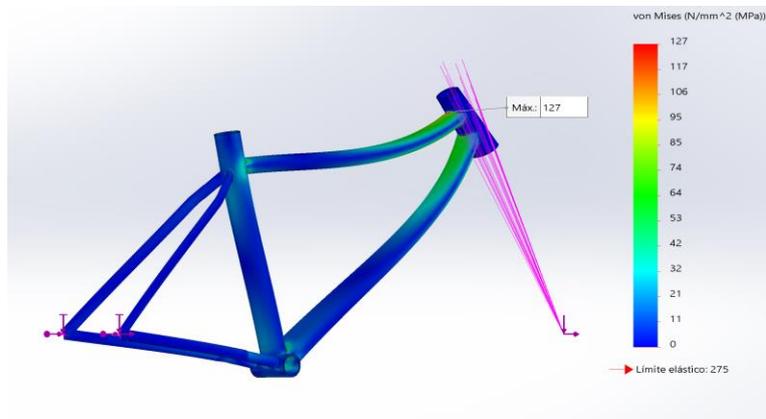


Figura VI-17. Ensayo con fuerzas horizontales. Tensión de Von mises.

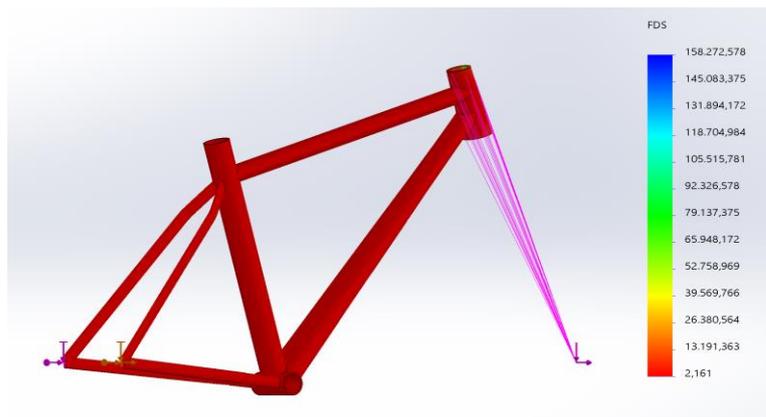


Figura VI-18. Ensayo con fuerzas horizontales. Factor de seguridad.

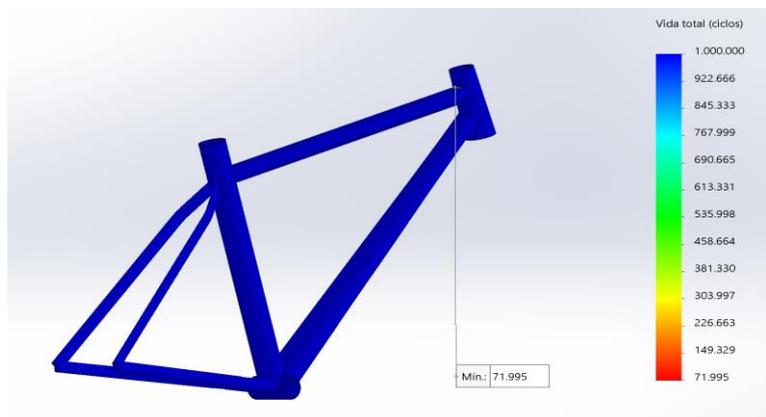


Figura VI-19. Ensayo con fuerzas horizontales. Ciclos de vida.

VI. Diseño y Análisis

Valor de estudio	Resultado
Tensión de Von mises	127 Mpa
Ciclos de vida	71.995
Factor de seguridad	2,161

Tabla VI-2. Resultados obtenidos del ensayo con cargas horizontales con Aluminio 6061 T-6

Para el Aluminio, es el material por el cual se ha tenido que modificar algunos espesores para poder cumplir con los ciclos de vida requeridos por la normativa. Es el ensayo, con el material más restrictivo a la hora de diseñar el cuadro.

VI.3.3.2 ACERO 4130



Figura VI-20. Ensayo con fuerzas horizontales. Tensión de Von Mises.



Figura VI-21. Ensayo con fuerzas horizontales. Factor de seguridad

VI. Diseño y Análisis

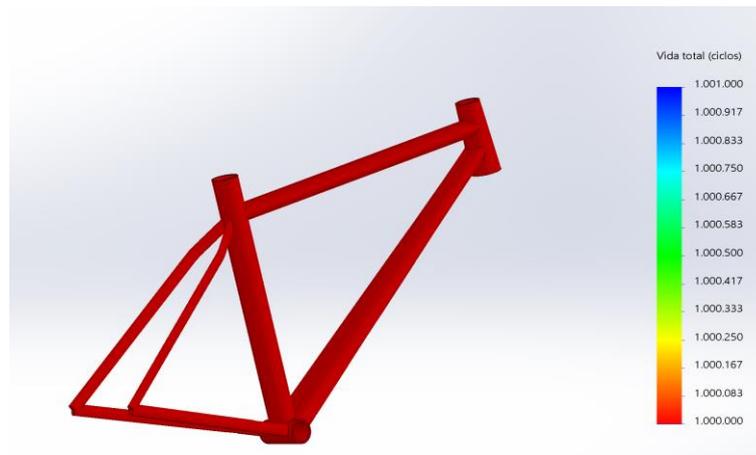


Figura VI-0-22. Ensayo con fuerzas horizontales. Ciclos de vida

Valor de estudio	Resultado
Tensión de Von mises	130 Mpa
Ciclos de vida	1.000.000
Factor de seguridad	3,528

Tabla VI-3. Resultados obtenidos del ensayo con cargas horizontales con Acero 4130.

El material cumple con creces el ensayo al que se ha sometido. Tiene una vida a fatiga infinita, ya que supera los 10^6 ciclos.

VI.3.3.3 TITANIO TI-3AL-2.5V

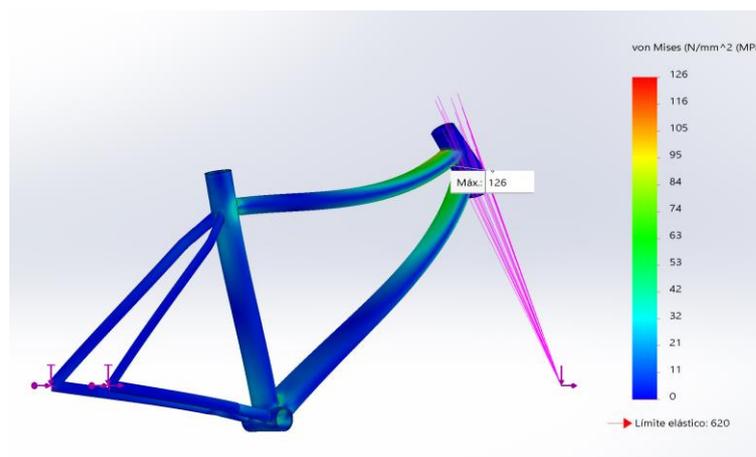


Figura VI-23. Ensayo con fuerzas horizontales. Tensión de Von Mises.

VI. Diseño y Análisis

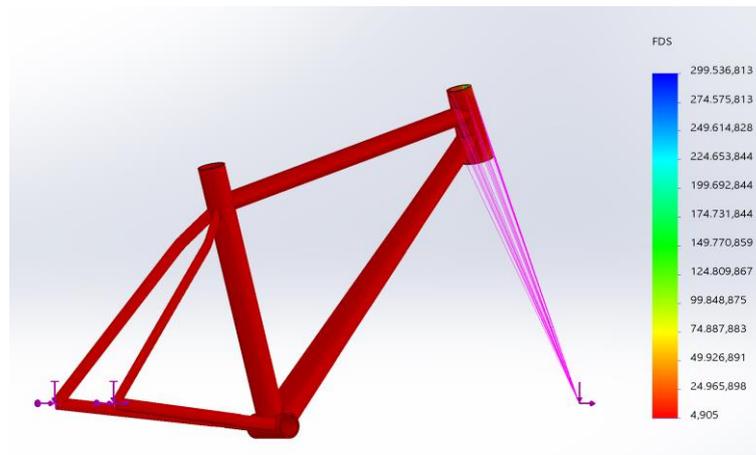


Figura VI-24. Ensayo con fuerzas horizontales. Factor de seguridad.

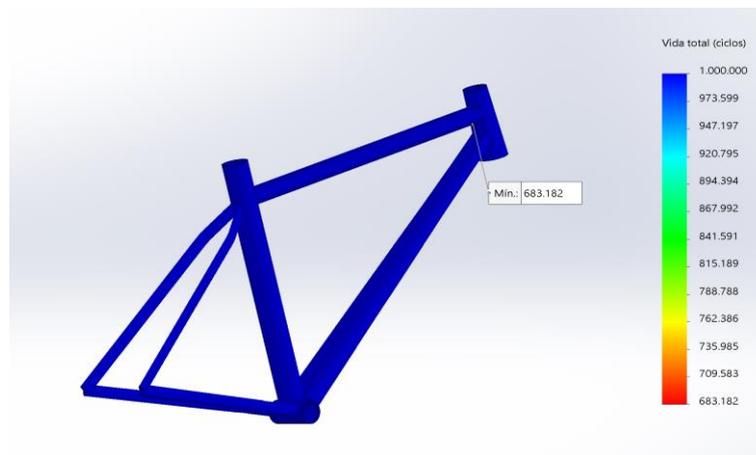


Figura VI-25. Ensayo con fuerzas horizontales. Ciclos de vida.

Valor de estudio	Resultado
Tensión de Von mises	126 Mpa
Ciclos de vida	683.182
Factor de seguridad	4,905

Tabla VI-4. Resultados obtenidos del ensayo con cargas horizontales con Titanio Ti-3Al-2.5V.

Es el material con un mayor factor de seguridad. En algún punto ha coincidido con la recta corregida de Goodman para el material, y debido a este motivo no nos ha salido una vida infinita. Cumple con creces todos los requisitos.

VI.4. ENSAYO A FATIGA CON FUERZAS VERTICALES

VI.4.1. ESTUDIO DEL ENSAYO

Se va a proceder a realizar los ensayos correspondientes a la normativa ISO 4210 para la aplicación de una fuerza vertical. En primer lugar, tenemos que comprobar que los ejes están alineados en horizontal.

Una vez instalado el cuadro se fija el eje trasero (4), dejando libres los ejes de giro para que pueda rotar. Respecto al eje delantero de la falsa horquilla, se fija en un rodillo (1) que va a permitir su movimiento en el eje longitudinal.

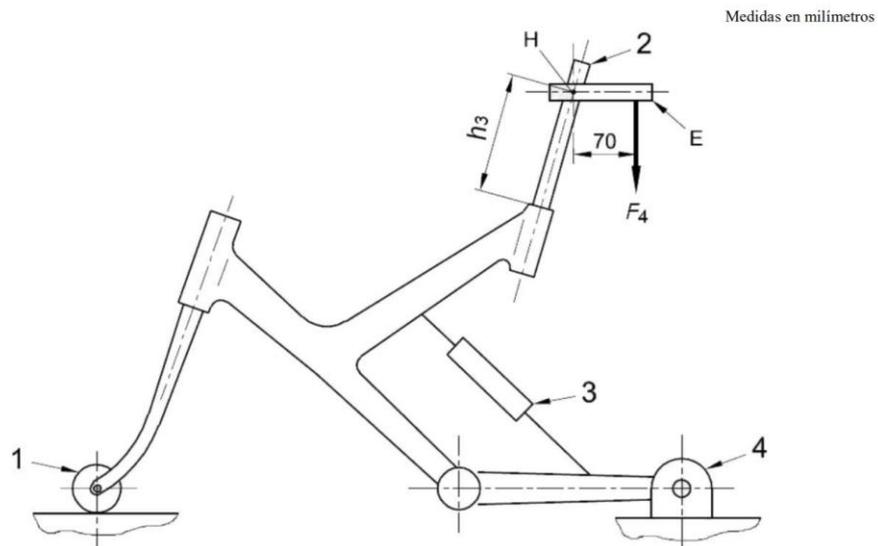
En lo que respecta a la carga vertical aplicada sobre el cuadro, se tiene que realizar un montaje para su aplicación. Se introduce una tija, a una profundidad de 75 mm, que es la mínima a la cual se puede introducir el elemento sobre el tubo del sillín. En la parte superior de la tija, más en concreto a 250 mm (h3), que es la altura máxima que puede alcanzar el sillín, se instala una extensión horizontal rígida (E). La carga en vertical (F4), en sentido hacia el cuadro de bicicleta, va a ser aplicada sobre esta extensión horizontal, a una distancia de 70 mm respecto de la unión de la tija y la extensión. La fuerza de aplicación en la normativa para bicicletas de montaña marca 1200N, tal y como muestra la Tabla VI-26 y se aplica en 50000 ciclos para el ensayo a fatiga.

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

Figura VI-26. Cargas a aplicar en el ensayo de fatiga con fuerzas verticales según la normativa ISO 4210-6. Las unidades de las cargas son Newtons.

Todos los apoyos y cargas necesarios para realizar el ensayo se pueden observar con facilidad en la Figura VI-27 de la normativa correspondiente.

VI. Diseño y Análisis



Leyenda

- E Extensión horizontal rígida hacia atrás
- H Posición equivalente al centro de la fijación del sillín con la bicicleta
- 1 Rodillo que puede girar libremente
- 2 Barra de acero
- 3 Unidad de suspensión bloqueada o una unión rígida para vainas pivotantes
- 4 Montura pivotante rígida para el punto de fijación del eje trasero

Figura VI-27. Conjunto de ensayo de fatiga con cargas verticales según la normativa ISO 4210-6

VI.4.2. DEFINICIÓN DE LAS CARGAS Y CONDICIONES DE CONTORNO

VI.4.2.1. ESTUDIO ESTÁTICO

Una vez estudiado la manera de realizar el ensayo a fatiga con fuerzas verticales, se procede a realizar la simulación del ensayo en nuestro programa CAD con las cargas y apoyos correspondientes.

El punto para aplicar la fuerza según la normativa ha sido dibujado en Solidworks como líneas constructivas, de esta manera, no influye sobre el sólido y se saca de una manera sencilla y visual donde ira aplicada la fuerza vertical sobre el cuadro.

VI. Diseño y Análisis

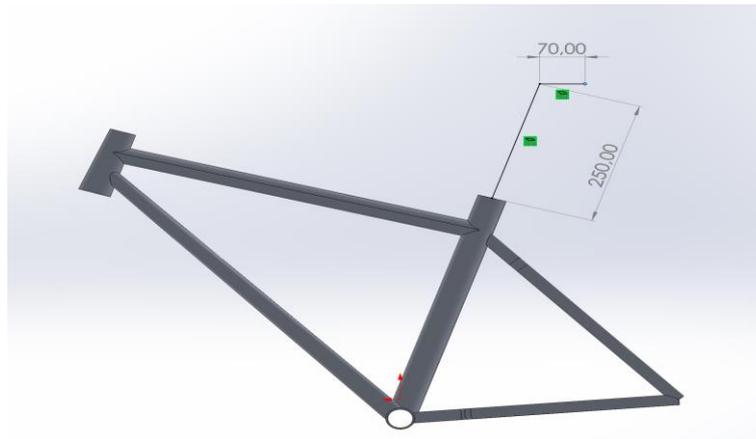


Figura VI-0-28. Dibujo para sacar el punto exacto de aplicación de la fuerza vertical sobre el cuadro.

X: -284.31mm Y: 0.00mm Z: -660.97mm

Figura VI-29. Coordenadas donde se va aplicar la fuerza vertical según las distancias acotadas en la normativa ISO 4210-6.

Es importante destacar la superficie sobre la cual se hace la fuerza, que en este caso es el tubo del sillín, donde la fuerza remite sobre este tubo directamente. El ensayo estático queda como en la Figura VI.30.

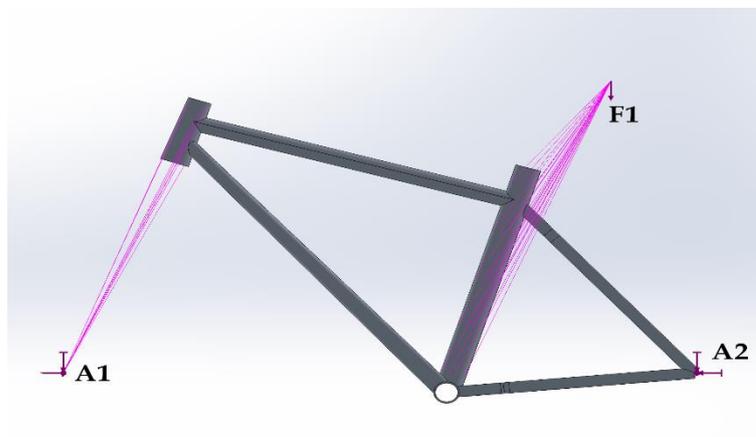


Figura VI-30. Cargas y apoyos aplicado sobre el cuadro de bicicleta en el Solidworks para realizar el ensayo a fatiga con cargas verticales según la normativa.

Donde:

- F1 es la carga vertical aplicada sobre el tubo del sillín.
- A1 es el rodillo apoyado a una distancia equivalente a la horquilla.
- A2 es el pivote rígido sobre los ejes traseros.

VI. Diseño y Análisis

Para aplicar estas cargas y apoyos del ensayo es importante seguir las distancias marcadas por la normativa respecto de nuestro origen de diseño y, en el caso de los apoyos, restringir si es necesario la traslación y la rotación en los ejes correspondientes según las condiciones de los mismos.

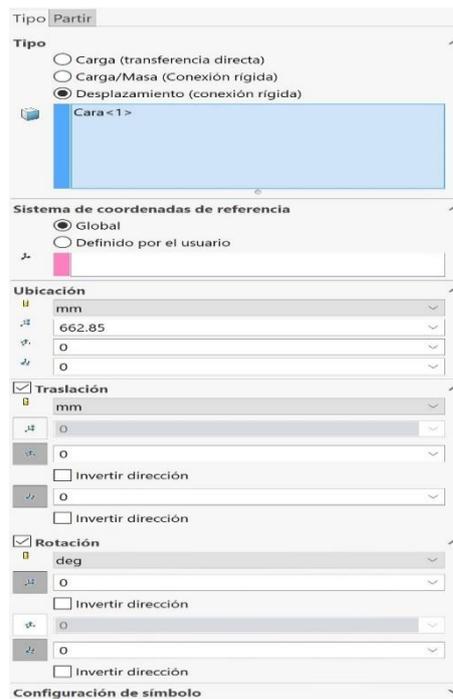


Figura VI-31. Desplazamiento remoto en simulación del rodillo para el ensayo de fatiga con cargas verticales.

VI. Diseño y Análisis

Tipo Partir

Tipo

- Carga (transferencia directa)
- Carga/Masa (Conexión rígida)
- Desplazamiento (conexión rígida)

Cara<1>

Sistema de coordenadas de referencia

- Global
- Definido por el usuario

Ubicación

mm

X: -432.96

Y: 67.5

Z: 0

Traslación

mm

X: 0

Invertir dirección

Y: 0

Invertir dirección

Z: 0

Invertir dirección

Rotación

deg

X: 0

Invertir dirección

Y: 0

Invertir dirección

Z: 0

Invertir dirección

Configuración de símbolo

Figura VI-32. Desplazamiento remoto de las vainas para el ensayo de fatiga con cargas verticales.

Tipo

- Carga (transferencia directa)
- Carga/Masa (Conexión rígida)
- Desplazamiento (conexión rígida)

Cara<1>

Sistema de coordenadas de referencia

- Global
- Definido por el usuario

Ubicación

mm

X: -284.31

Y: 0

Z: -600.97

Fuerza

N

X: 0

Y: 0

Z: 1200

Invertir dirección

Figura VI-33. Carga remota de la fuerza horizontal en el ensayo de fatiga con cargas verticales en Solidworks.

VI. Diseño y Análisis

VI.4.2.2. ENSAYO DE FATIGA

Una vez ejecutado el estudio estático del cuadro, se realiza el ensayo a fatiga. En el vamos a aplicar un suceso de amplitud constante de 50000 ciclos, en el que el tipo de carga es con base en 0 para que realice la carga y descarga de la fuerza en cada ciclo. Después de aplicar el suceso se le aplica el material con el que vayamos a simular con la curva S-N de fatiga correspondiente al mismo y ejecutamos el ensayo.

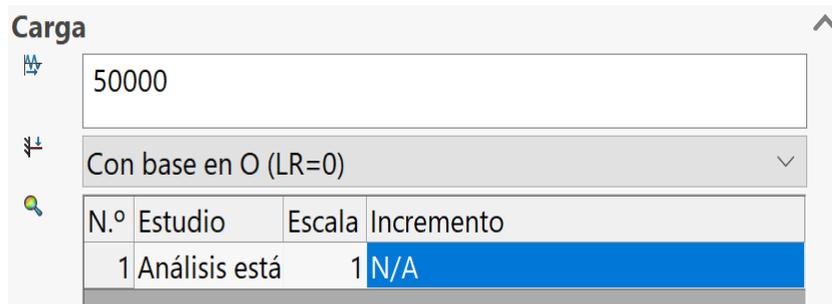


Figura VI-34. Establecimiento de suceso de carga en Solidworks para cumplimentar con la normativa en el ensayo de fatiga.

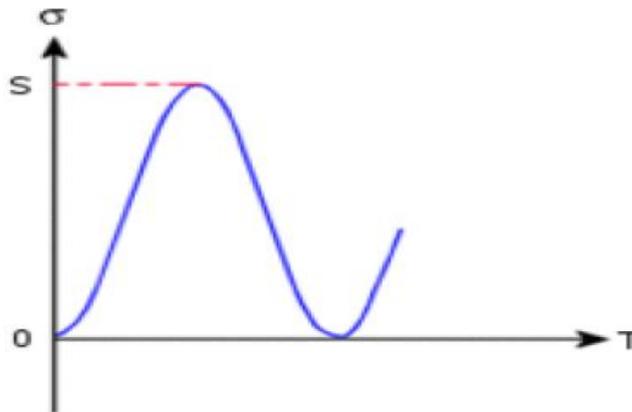


Figura VI-35. Gráfica de la función "Con base en 0 (LR=)"

VI.4.3 RESULTADOS OBTENIDOS

Una vez aplicada la malla sobre la pieza, se ejecuta el ensayo, obteniendo los siguientes resultados, para los diferentes materiales:

VI. Diseño y Análisis

VI.4.3.1 ALUMINIO 6061 T-6

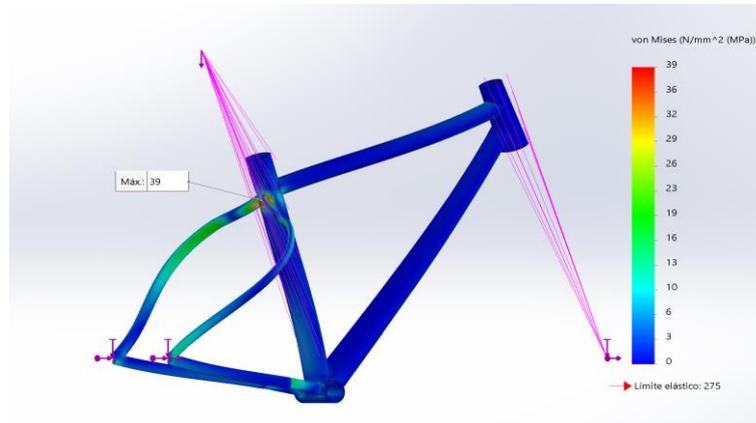


Figura VI-36. Ensayo con fuerzas verticales. Tensión de Von Mises.

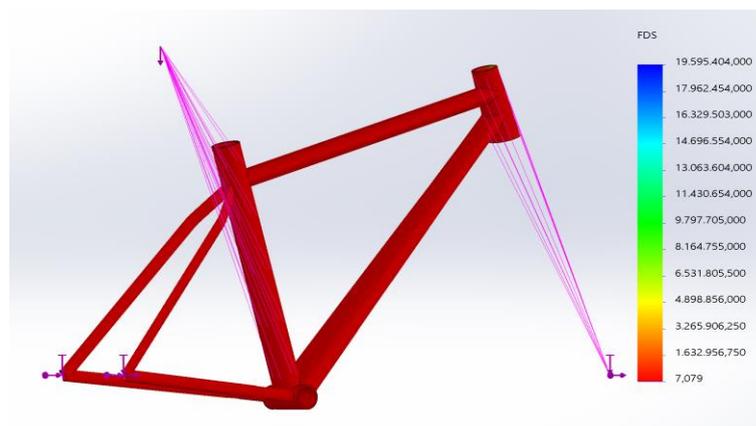


Figura VI-37. Ensayo con fuerzas verticales. Factor de seguridad

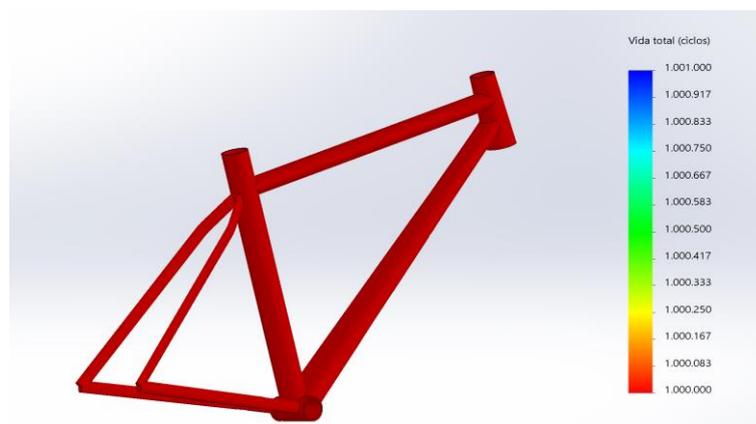


Figura VI-38. Ensayo con fuerzas verticales. Ciclos de vida.

VI. Diseño y Análisis

Valor de estudio	Resultado
Tensión de Von mises	39 Mpa
Ciclos de vida	1.000.000
Factor de seguridad	7,079

Tabla VI-5. Resultados del ensayo a fatiga con cargas verticales aplicando el material Aluminio 6061 T-6

En este ensayo se observa que los resultados son mucho mayores que en el anterior ensayo con el mismo material. Es el ensayo menos restrictivo y el diseño del cuadro lo pasa sin problemas con un elevado factor de seguridad. En este ensayo el cuadro tiene una vida infinita a fatiga.

VI.4.3.2 ACERO 4130

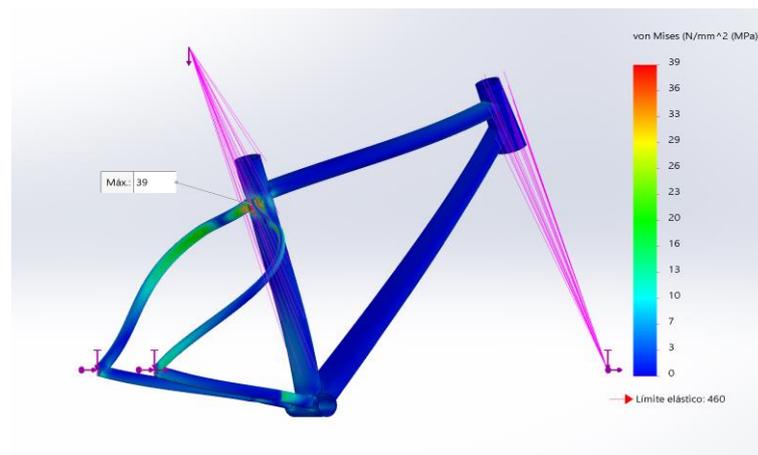


Figura VI-39. Ensayo con fuerzas verticales. Teoría de Von mises.

VI. Diseño y Análisis



Figura VI-40. Ensayo con fuerzas verticales. Factor de seguridad.

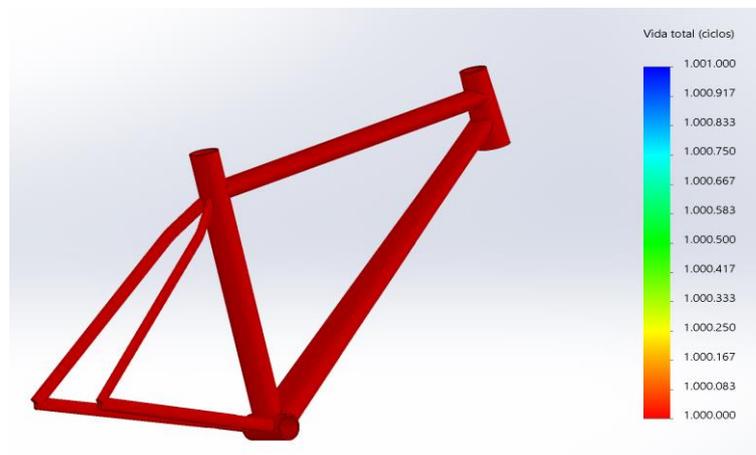


Figura VI-41. Ensayo con fuerzas verticales. Ciclos de vida.

Valor de estudio	Resultado
Tensión de Von mises	39 Mpa
Ciclos de vida	1.000.000
Factor de seguridad	11,778

Tabla VI-6. Resultados del ensayo a fatiga con cargas verticales aplicando el material Acero 4130.

Al igual que el mismo ensayo realizado para el aluminio, el material cumple con creces los requisitos demandados por la normativa del ensayo y no se tiene ningún problema con él. El material también tiene una vida infinita.

VI. Diseño y Análisis

VI.4.3.3 TITANIO TI-3AL-2.5V

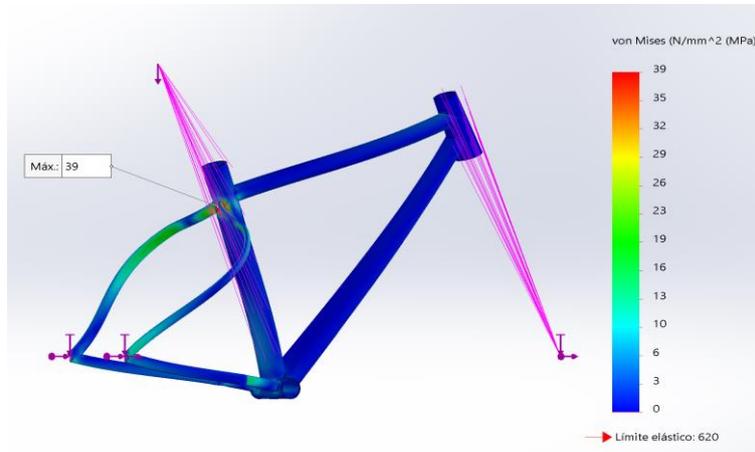


Figura VI-42. Ensayo con fuerzas verticales. Tensión de Von mises.

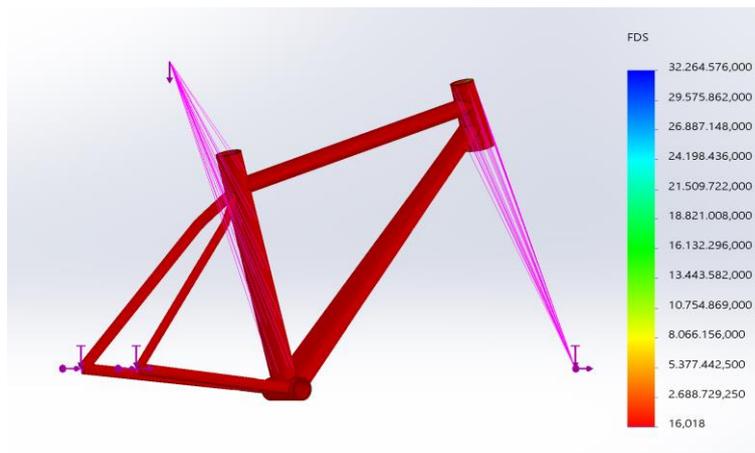


Figura VI-43. Ensayo con fuerzas verticales. Factor de seguridad.

VI. Diseño y Análisis

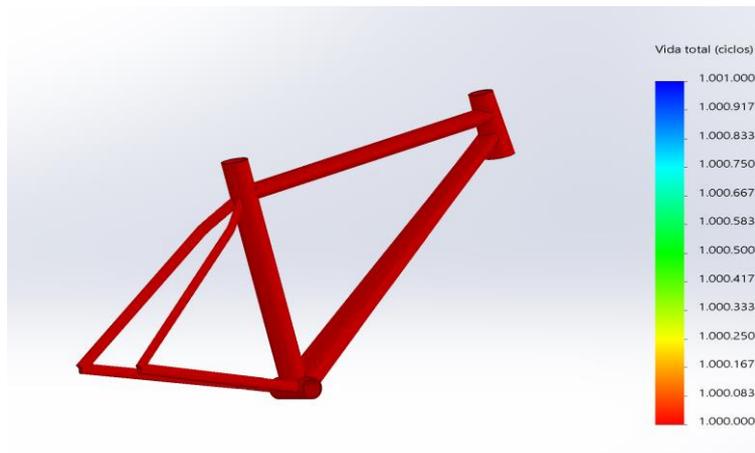


Figura VI-0-44. Ensayo con fuerzas verticales. Ciclos de vida

Valor de estudio	Resultado
Tensión de Von mises	39 Mpa
Ciclos de vida	1.000.000
Factor de seguridad	16,018

Tabla VI-7. Resultados del ensayo a fatiga con cargas verticales aplicando el material Titanio Ti-3Al-2.5V.

Se observa en el último ensayo realizado con Titanio, que la prueba es la menos restrictiva. El material tiene un elevado factor de seguridad y vida a fatiga infinita, como los otros dos materiales estudiados y aplicados en este ensayo con cargas verticales.

VI.5. ENSAYO A FATIGA CON FUERZAS DE PEDALEO

VI.5.1. ESTUDIO DEL ENSAYO

Para finalizar los ensayos de fatiga, vamos a realizar el ensayo a fatiga con fuerzas de pedaleo. Este ensayo se tiene que realizar a todos los tipos de cuadro de bicicleta. El ensayo también se realiza con una horquilla falsa y rígida, que vamos a reemplazar por un desplazamiento remoto. Todos aquellos componentes regulables de la bicicleta tienen que ser regulados para que las fuerzas remitan sobre el cuadro directamente y estos no influyan en el ensayo.

VI. Diseño y Análisis

Para realizar el ensayo, hay que montar el cuadro sobre una base como muestra la figura VI-46. La horquilla deberá ir sujeta por su eje a una barra de fijación con un radio (R_w) igual al del conjunto de rueda-neumático con una tolerancia de ± 30 mm y de manera que pueda girar respecto de su eje. En cuanto a las vainas traseras, se fijan con un eje a una unión vertical con unas dimensiones iguales a la barra de fijación delantera, dejando libre el giro de la unión con el eje, pero con la barra rígida y en la extremidad inferior se instala una rotula.

Dentro de la norma cabe la posibilidad de instalar un conjunto de biela, plato o juego de platos y cadena, pero también está la opción y más preferible, de instalar un conjunto rígido y resistente, situado en la caja del pedalier como se muestra en la Figura VI-46, de este modo nos permite poder simularlo como una carga remota y no tener que poner más componentes para simular dentro del ensayo.

Para la instalación del conjunto de sustitución rígido se tiene que cumplir con las medidas de la figura VI-46. El conjunto en principio puede girar sobre la caja de pedalier, con unas bielas de longitud 175 mm, dirigidas hacia adelante y hacia abajo con un ángulo de 45° respecto de la horizontal. En esta posición se bloquean los componentes, ayudados por un brazo de palanca vertical, que realiza la función de plato, y un tirante que tiene instalado en ambos extremos rotulas. Este está conectado al eje trasero de manera perpendicular al eje del centro de la rueda. La longitud del brazo vertical es de 75 mm y el eje del tirante es paralelo y se encuentra a una distancia de 50 mm respecto del plano transversal vertical del cuadro.

Respecto a la fuerza, es sometida a cada eje del pedal, de manera repetida. Se sitúa a 150 mm del plano transversal vertical, con una inclinación de $7,5^\circ$ respecto al plano longitudinal del cuadro. Estas fuerzas se tienen que sincronizar en el ensayo, de tal manera que cuando la fuerza sometida sobre un pedal está al 5% o menos de la fuerza máxima, se empieza a aplicar la fuerza sobre el otro eje de pedal.

Estas fuerzas son aplicadas durante 100.000 ciclos de ensayo. Cada ciclo de ensayo, consta de la aplicación de las dos fuerzas en los dos pedales al completo. La

VI. Diseño y Análisis

fuerza que se aplica en cada pedal tiene un valor de 1200 N, al tratarse de una bicicleta de montaña, tal y como nos indica la Figura VI-45.

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

Figura VI-45. Cargas a aplicar en el ensayo de fatiga con fuerzas de pedaleo según la normativa ISO 4210-6. Las unidades de las cargas son Newtons.

Todas las fuerzas y las condiciones de entorno del ensayo se pueden observar en la Figura VI-46 con facilidad y de manera clara.

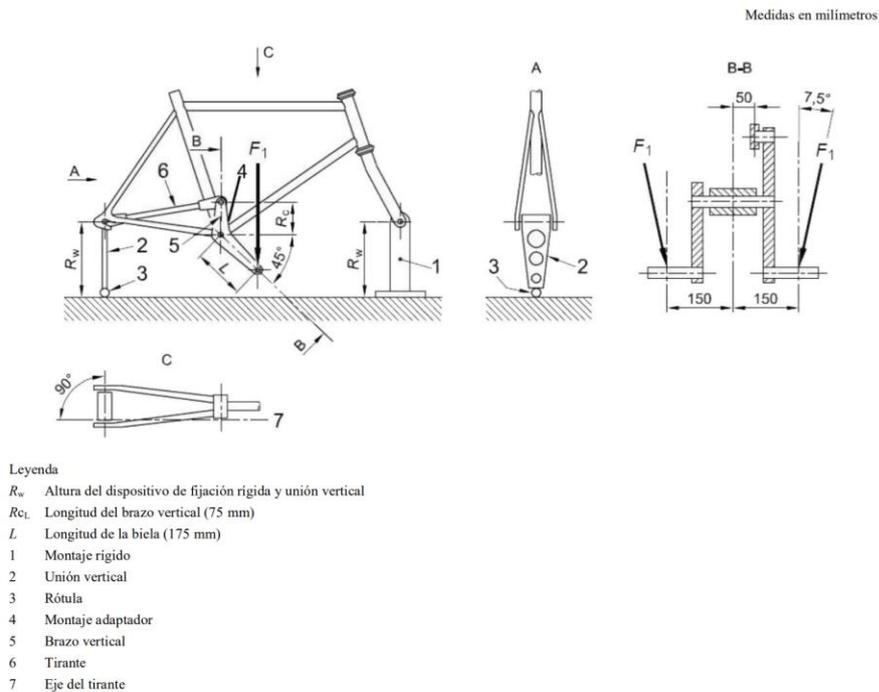


Figura VI-46. Conjunto de ensayo de fatiga con cargas de pedaleo según la normativa ISO 4210-6. Las medidas son en milímetros.

VI. Diseño y Análisis

VI.5.2. DEFINICIÓN DE LAS CARGAS Y CONDICIONES DE CONTORNO

VI.4.2.1. ESTUDIO ESTÁTICO

Una vez estudiado la manera de realizar el ensayo a fatiga con fuerzas de pedaleo, se introducen las fuerzas y los apoyos correspondientes en el programa CAD Solidworks, donde vamos a realizar la simulación y obtener los resultados.

Cabe destacar que en este ensayo se van a realizar dos ensayos estáticos, ya que después de estos, tenemos que sincronizar las dos fuerzas de pedaleo para el ensayo a fatiga. En cada ensayo estático se aplica una fuerza sobre cada pedal.

El conjunto de ensayo en el programa queda como en la figura VI-47.

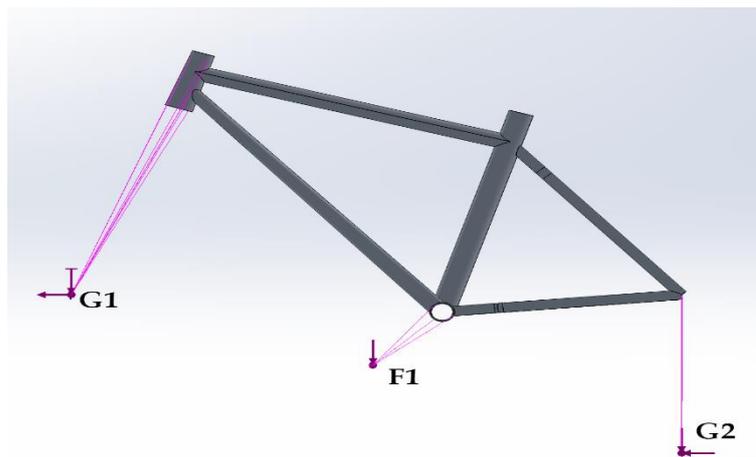


Figura VI-47. Condiciones del ensayo de fatiga con cargas horizontales en Solidworks.

Donde:

- $F1$ es la fuerza aplicada sobre el pedal.
- $G1$ es el desplazamiento remoto que simula la horquilla.
- $G2$ es el desplazamiento remoto con la sujeción de las vainas traseras a la rótula.

VI. Diseño y Análisis

Las fuerzas y apoyos se introducen a la distancia respecto de nuestro punto de origen del sólido, siempre calculadas para que cumplan con las distancias de la normativa.

Para realizar la fuerza según nos dice la normativa con un ángulo de $7,5^\circ$, se ha descompuesto la fuerza en el eje Y y Z del programa. Se han realizado los siguientes cálculos de descomposición:

$$F_x = 1200 \times \text{sen } 7,5^\circ = 156,63 \text{ N}$$

$$F_y = 1200 \times \text{cos } 7,5^\circ = 1189,73 \text{ N}$$

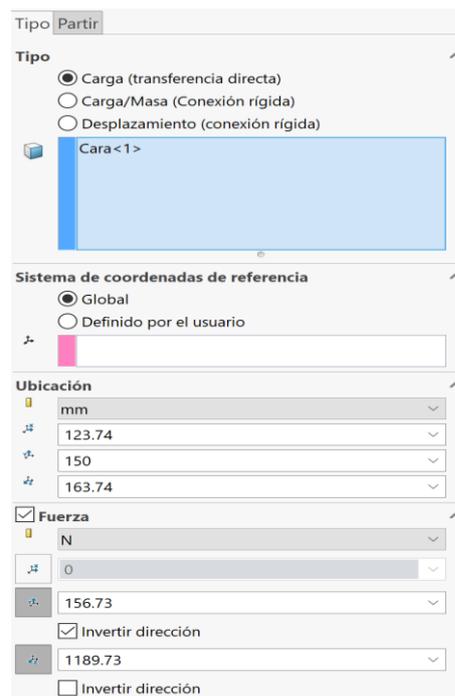


Figura VI-48. Carga remota de la fuerza de pedaleo en el ensayo de fatiga con cargas horizontales en Solidworks

VI. Diseño y Análisis

Tipo

- Carga (transferencia directa)
- Carga/Masa (Conexión rígida)
- Desplazamiento (conexión rígida)

Cara<1>

Sistema de coordenadas de referencia

- Global
- Definido por el usuario

Ubicación

mm

662.85

0

0

Traslación

mm

0

Invertir dirección

0

Invertir dirección

0

Invertir dirección

Rotación

deg

0

Invertir dirección

0

0

Invertir dirección

Configuración de símbolo

Figura VI-49. Desplazamiento remoto para la horquilla en el ensayo de fatiga con fuerzas de pedaleo.

Tipo

- Carga (transferencia directa)
- Carga/Masa (Conexión rígida)
- Desplazamiento (conexión rígida)

Cara<1>

Cara<2>

Sistema de coordenadas de referencia

- Global
- Definido por el usuario

Ubicación

mm

-428.15

0

368

Traslación

mm

0

Invertir dirección

0

Invertir dirección

0

Invertir dirección

Rotación

Configuración de símbolo

Figura VI-50. Desplazamiento remoto para la cogida de las vainas traseras a la unión vertical para el ensayo de fatiga con cargas horizontales.

VI. Diseño y Análisis

Tipo

- Carga (transferencia directa)
- Carga/Masa (Conexión rígida)
- Desplazamiento (conexión rígida)

Cara <1>
Cara <2>

Sistema de coordenadas de referencia

- Global
- Definido por el usuario

Ubicación

mm

X: -428.15

Y: 0

Z: 368

Traslación

mm

X: 0

Invertir dirección

Y: 0

Invertir dirección

Z: 0

Invertir dirección

Rotación

deg

X: 0

Y: 0

Z: 0

Configuración de símbolo

Figura VI-51. Desplazamiento remoto para la sujeción de las vainas traseras en el ensayo de fatiga con fuerzas de pedaleo.

VI.5.2.2. ENSAYO DE FATIGA

Una vez ejecutado los dos ensayos estáticos anteriores, se realiza el ensayo a fatiga. Para realizar este ensayo, se introduce el material y la curva SN del acero austenítico. También se le introduce el suceso de la Figura VI-52 en el programa, para que de esta manera se sincronicen las dos fuerzas aplicadas en dos ensayos estáticos diferentes sobre cada pedal, y cuente como un ciclo. El número de ciclos establecido por la norma son 100.000.

Carga

100000

Buscar picos del ciclo

N.º	Estudio	Escala	Incremento
1	Análisis está	1	N/A
2	Análisis está	1	N/A
3			

Figura VI-52. Suceso para cumplir con la sucesión de las cargas de los dos pedales durante los ciclos establecidos por la normativa.

VI. Diseño y Análisis

VI.5.3 RESULTADOS OBTENIDOS

VI.5.3.2 ALUMINIO 6061 T-6

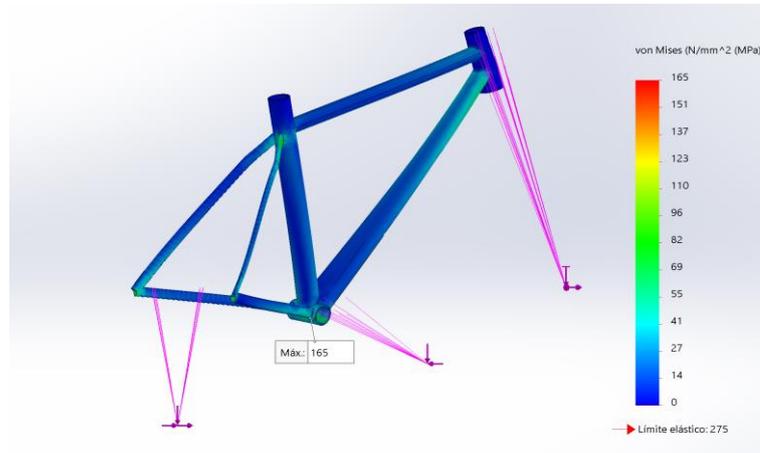


Figura VI-53. Ensayo con fuerzas de pedaleo. Tensión de Von Mises.

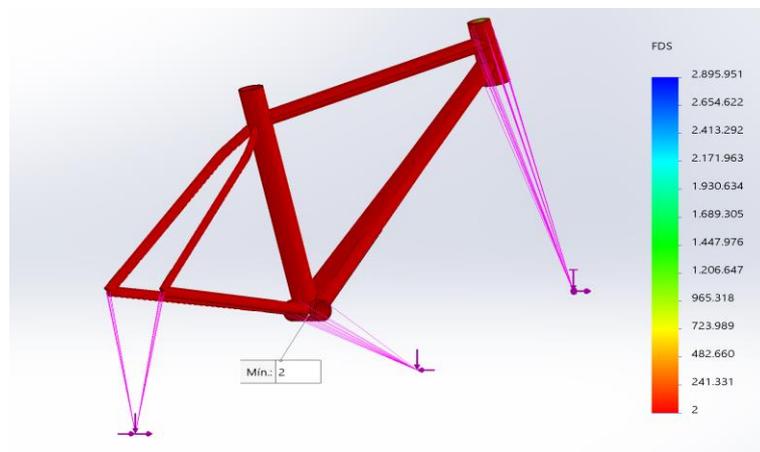


Figura VI-54. Ensayo con fuerzas de pedaleo. Factor de seguridad.

VI. Diseño y Análisis

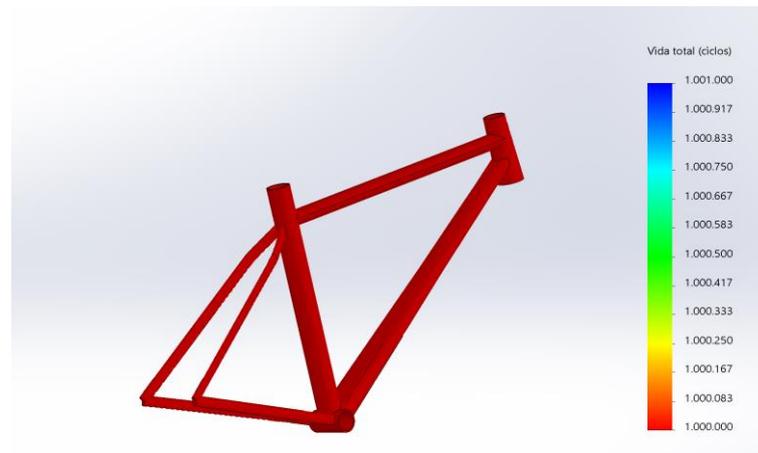


Figura VI-55. Ensayo con fuerzas de pedaleo. Ciclos de vida.

Valor de estudio	Resultado
Tensión de Von mises	165 Mpa
Ciclos de vida	1.000.000
Factor de seguridad	2

Tabla VI-8. Resultados del ensayo a fatiga con cargas de pedaleo aplicando el material Aluminio 6061 T-6.

El ensayo cumple los requisitos con un factor de seguridad, siendo el doble que el mínimo para no provocar la rotura del material.

VI.5.3.3 ACERO 4130

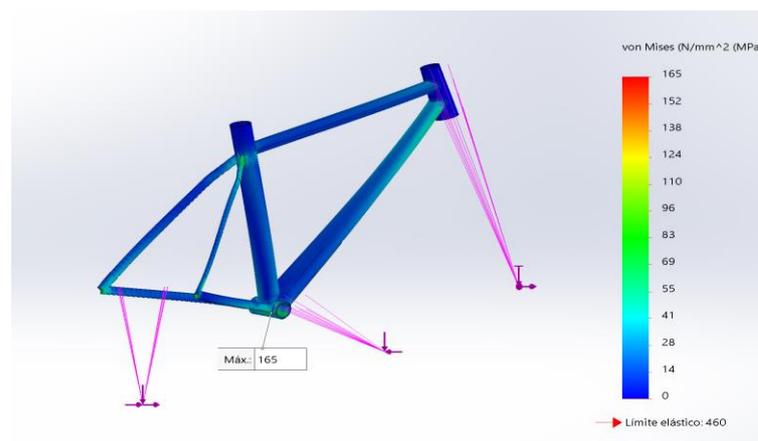


Figura VI-56. Ensayo con fuerzas de pedaleo. Tensión de Von mises.

VI. Diseño y Análisis

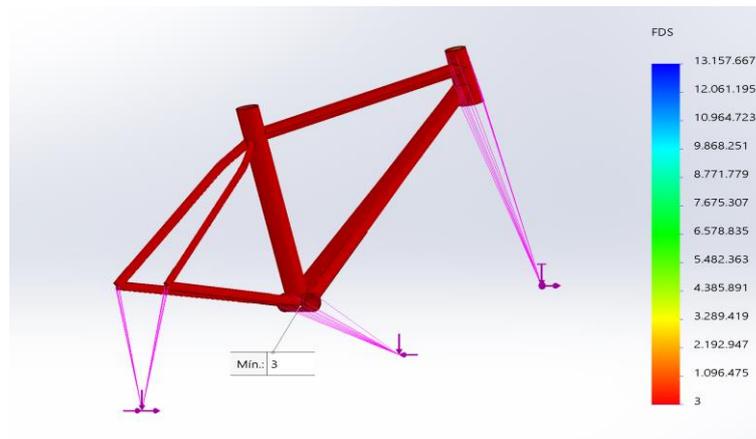


Figura VI-57. Ensayo con fuerzas de pedaleo. Factor de seguridad.

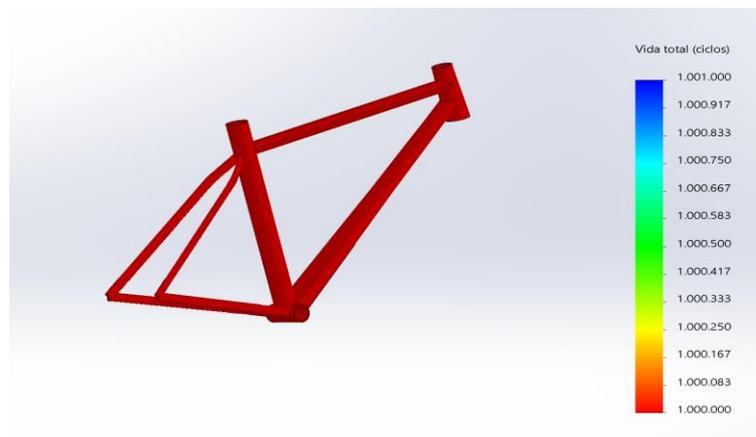


Figura VI-58. Ensayo con fuerzas de pedaleo. Ciclos de vida.

Valor de estudio	Resultado
Tensión de Von mises	165 Mpa
Ciclos de vida	1.000.000
Factor de seguridad	3

Tabla VI-9. Resultados del ensayo a fatiga con cargas de pedaleo aplicando el material Acero 4130.

La pieza realizada con Acero pasa sin problemas el ensayo marcado por la normativa y tiene una vida infinita a fatiga.

VI. Diseño y Análisis

VI.5.3.4 TITANIO TI-3AL-2.5V

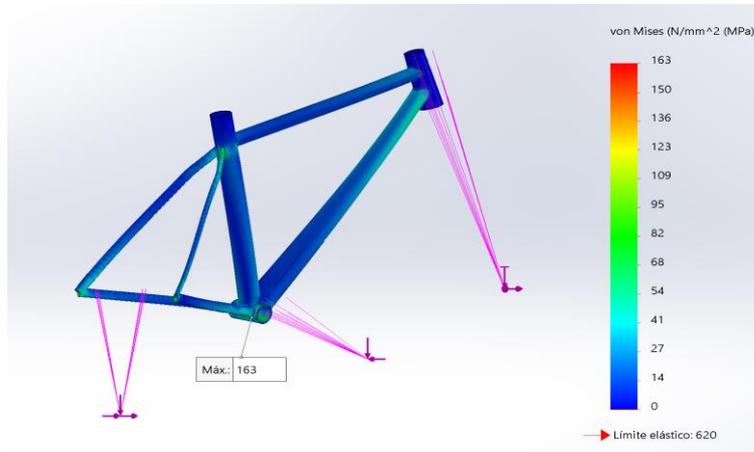


Figura VI-59. Ensayo con fuerzas de pedaleo. Tensión de Von Mises.

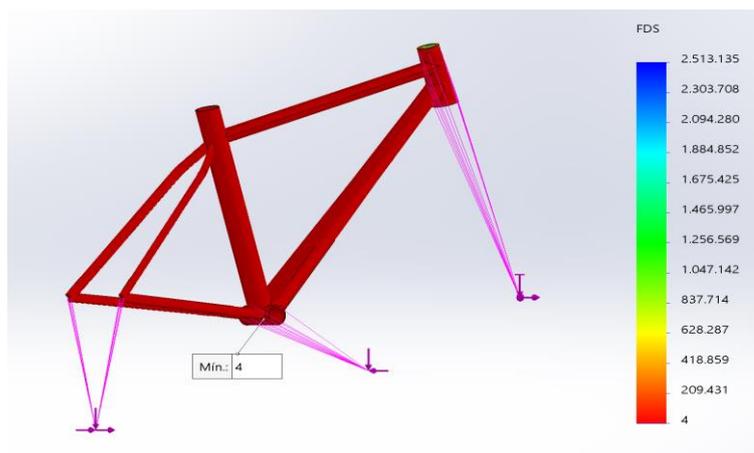


Figura VI-60. Ensayo con fuerzas de pedaleo. Factor de seguridad.

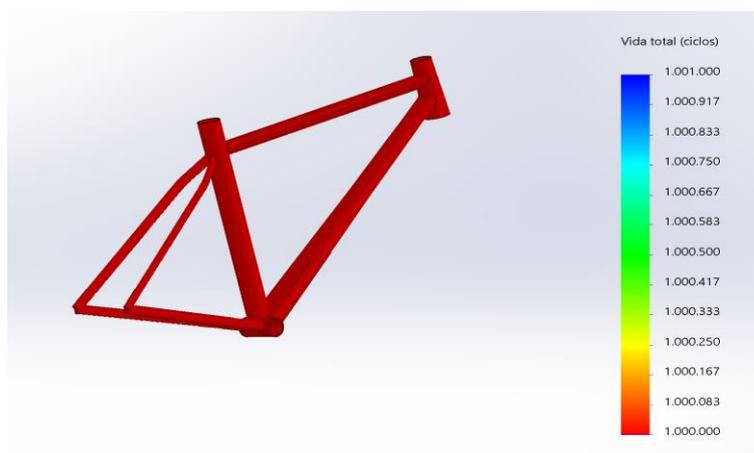


Figura VI-61. Ensayo con fuerzas de pedaleo. Ciclos de vida.

VI. Diseño y Análisis

Valor de estudio	Resultado
Tensión de Von mises	163 Mpa
Ciclos de vida	1.000.000
Factor de seguridad	4

Tabla VI-10. Resultados del ensayo a fatiga con cargas de pedaleo aplicando el material Titanio Ti-3Al-2.5V.

La pieza sometida al ensayo por fuerzas de pedaleo, realizada con Titanio, es la que mayor factor de seguridad tiene respecto a los otros dos materiales metálicos. También tiene una vida a fatiga infinita.

VII. COMPARACIÓN DE RESULTADOS

COMPARACIÓN DE RESULTADOS

VII. Comparación de resultados

VII. Comparación de resultados

	Ensayo horizontal			Ensayo vertical			Ensayo de pedaleo		
	V.M	F.S	Ciclos	V.M	F.S	Ciclos	V.M	F.S	Ciclo
Aluminio	127	2,161	71.995	39	7,079	1.000.000	165	2	1.000000
Acero	130	3,528	1.000.000	39	11,778	1.000.000	165	3	1.000.000
Titanio	126	4,905	683.182	39	16,018	1.000.000	163	4	1.000.000
Requisitos		>1	>50.000		>1	>50.000		>1	>100.000

Tabla VII-1. Resultados obtenidos en los diferentes ensayos realizados y con los diferentes materiales de fabricación.

Donde:

- V.M: es la tensión de Von mises. La unidad es Mpa.
- F.S: Factor de seguridad
- Ciclos: Ciclos a los que se someten las cargas hasta la aparición de la primera grieta.

Viendo la Tabla VII-1 de los resultados de los ensayos a fatiga realizados con los diferentes materiales estudiados, se puede observar que todos cumplen con los requisitos que establece la normativa, por lo que se podría fabricar el cuadro de la bicicleta con los tres materiales sin ningún problema. El material que más se ha acercado y ha costado de que cumpla con la normativa, es el aluminio, ya que se trata de un material más dúctil que los demás.

También se puede comprobar, que el ensayo que más marca la diferencia y limita a la hora de diseñar un cuadro de bicicleta, es el ensayo con cargas horizontales, además con una diferencia muy apreciable respecto de los demás. Posteriormente sería la carga de pedaleo y, por último, el de cargas verticales.

Respecto al ensayo con cargas horizontales, podemos apreciar que la zona más frágil y, por tanto, la que más sufre, es la unión del tubo superior con el tubo de dirección o telescopio. A lo largo del diseño del cuadro es donde más restricciones se ha tenido para hacer cumplir con la normativa, y así se refleja en los resultados obtenidos.

VII. Comparación de resultados

En el ensayo vertical, no se ha tenido tanto problema a la hora de diseñar y hacerlo cumplir. El punto donde la tensión es más elevada, se aprecia claramente en la unión de las vainas con el tubo del sillín. El tubo del sillín es el que menos sufre en el cuadro para conseguir el máximo rendimiento del pedaleo. Esto se debe a la gran rigidez del tubo gracias a las uniones que tiene a lo largo del tubo. Es el tubo con más uniones del cuadro.

Por último, en el ensayo con cargas de pedaleo, la mayor tensión se observa en la unión de caja de pedalier con las vainas debido al efecto de torsión que provoca la fuerza del ensayo en este punto.

VIII. CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

VIII. Conclusiones

Una vez realizado el estudio, se puede ver que el diseño realizado y diseñado en el programa de simulación de Solidworks con diferentes materiales de fabricación, pueden ser fabricados en base a los resultados, los cuales cumplen todos con la normativa vigente.

El cuadro que más problemas ha dado para llegar a cumplir con la normativa, ha sido el aluminio, que se ha tenido que modificar varias veces el espesor hasta llegar a sobrepasar los 50.000 ciclos de vida en el ensayo con fuerzas horizontales. Los otros dos ensayos los ha pasado sin ningún problema y con todos los espesores probados hasta el definitivo.

Las principales diferencias que podemos encontrar en la fabricación del cuadro con los tres materiales estudiados, son sobre todo el peso y el precio del material. En cuanto al peso y el precio los podemos comparar en la Tabla VIII-1.

	Peso del cuadro (Kg)	Precio del material (\$/Kg)	Precio del material para realizar el cuadro (\$)
Aluminio	3,669	Entre 2-3	7,33
Acero	10,669	Entre 0,6-1	6,40
Titanio	6,102	Entre 15-30	91,53

TablaVIII-1. Comparación de precios del material y del peso del cuadro según material fabricado.

Para realizar el cálculo del precio del material para realizar el cuadro, de la Tabla VIII-1, se ha tenido en cuenta el precio del material más bajo del rango de precios encontrados.

Los precios anteriormente vistos en la Tabla VIII-1 fluctúan mucho en función del mercado y pueden variar también en función del proveedor y de la cantidad de material comprado. También el precio que nos interesa saber es el coste de producción, muy difícil de obtener y que las empresas no proporcionan por motivos de confidencialidad. Por este motivo hemos realizado un orden de coste de producción según el material, que hay que tener en cuenta para la fabricación de nuestro cuadro, que no solo depende del coste de la materia prima sino del total, y este incluye el coste de producción. Por eso, realizar un cuadro de aluminio es más barato que el de acero, a

VIII. Conclusiones

pesar de ser un material más costoso. Esto se debe a que la fabricación del aluminio está mucho más extendida en el mercado y se producen de una manera más continua y en serie, además de ser un material más maleable y fácil de fabricar.

Es importante tener en cuenta, la fabricación del cuadro de bicicleta por fibra de carbono, que se trata de un material muy ligero y con grandes propiedades mecánicas. En contra a los materiales metálicos, es su elevado precio que tiene elaborar el cuadro y su duración por cada uno fabricado.

También hay que tener en cuenta, a la hora de elegir el material de fabricación, el uso que se le va a dar, que depende mucho de la modalidad de la bicicleta, y el tiempo de uso. Una vez pasadas los ensayos que verifican que se pueden fabricar pasando la normativa que así lo establece, se estudian estos factores en función de la compra que el usuario quiera realizar.

Según los resultados obtenidos en el trabajo, y los materiales estudiados, el material elegido por el usuario al realizar la compra de una bicicleta sería:

- Aluminio. Si se busca el menor peso, además del menor precio total. En contra, si se le va a dar un uso muy intenso, su desgaste con el tiempo va a ser mucho mayor que en los otros materiales y tienen poca durabilidad.
- Acero. Es el material más barato y tiene una durabilidad elevada. En contra, es muy pesado.
- Titanio. Es un material que dura tanto como el acero, más ligero, pero, con un precio mucho más elevado.

Por tanto, y basándonos en las características del material y su precio, si se quiere realizar una bicicleta con elevada durabilidad y que dure al paso del tiempo, nuestro material elegido sería el acero. En cambio, si buscamos ligereza y una durabilidad correcta para una bicicleta que no va a ser sometida a grandes trayectos costosos y la empleada por un usuario “estándar”, el material elegido sería el aluminio.

VIII. Conclusiones

IV. APÉNDICES

APÉNDICES

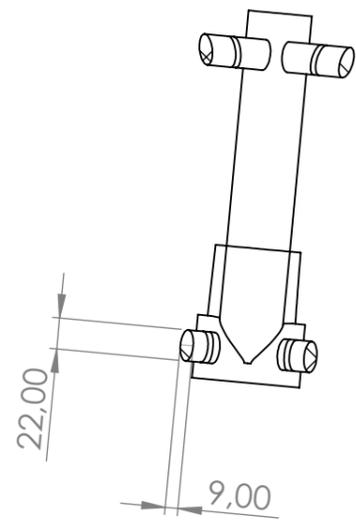
IV. Apéndices

IV.1. REFERENCIAS

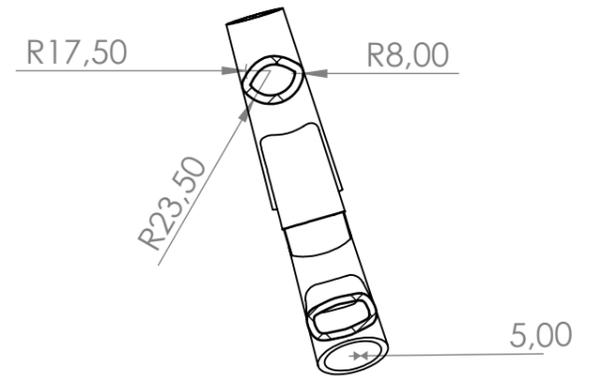
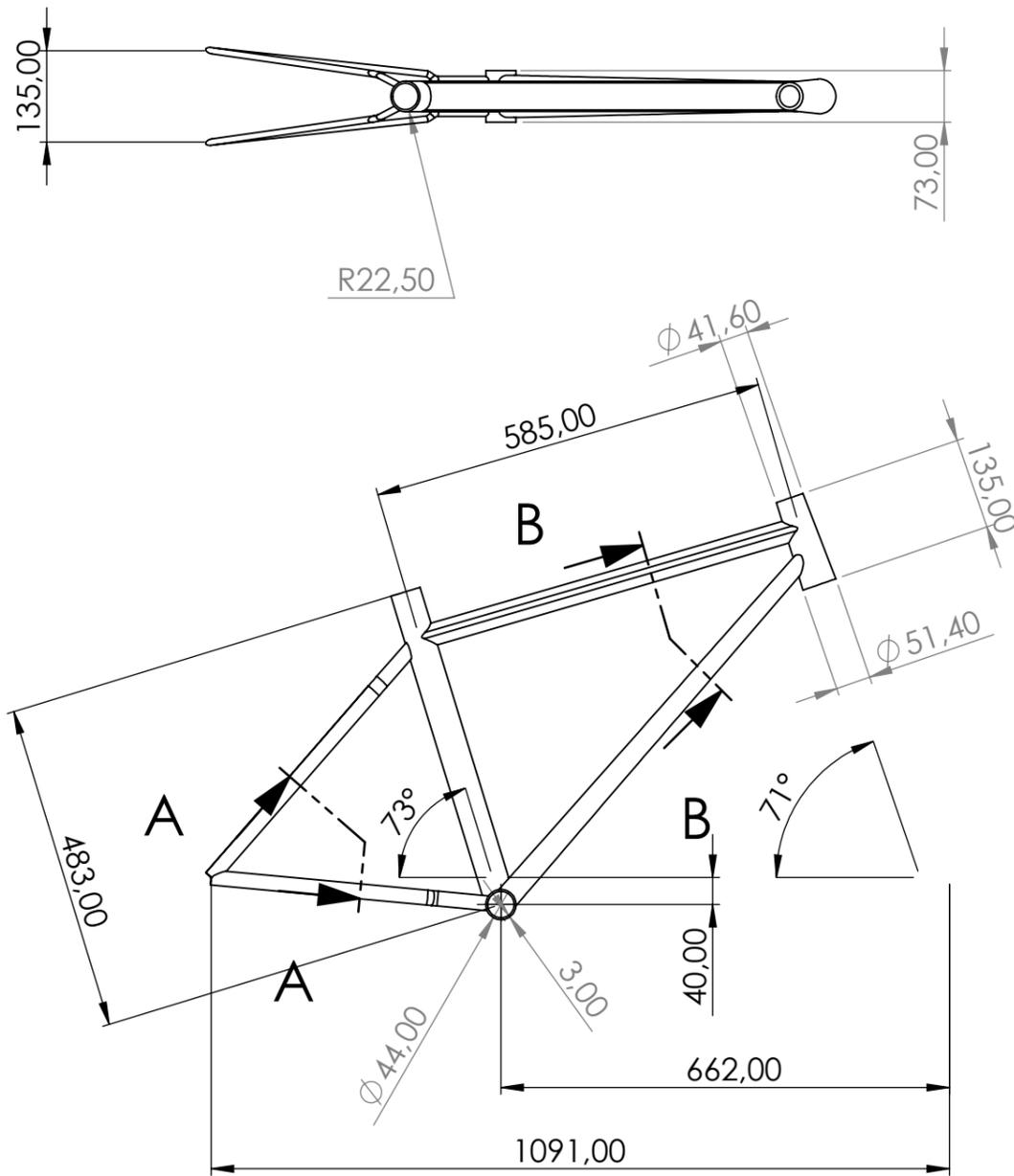
- <https://store.pedalrevolution.co.uk/5859/products/van-nicholas-tuareg-650b-mtb-mountain-bike-frame.aspx>
- <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70701/fichero/ANEXO+I.pdf>
- <https://tuvalum.com>
- <https://nosinmibici.com>
- <https://bicihome.com/>
- <https://www.ciclismoafondo.es>
- <https://conalforjas.com>
- <https://www.mtbpro.es>
- <https://www.maillotmag.com>
- <https://www.todomountainbike.net>
- Fundación ESTEYCO, (2003), Pilar Carrizosa, *La ingeniería de la bicicleta*, Editado en Madrid.
- <https://ingemecanica.com>
- <https://www.biciscope.com>

IV. Apéndices

IV.2. PLANOS ACOTADOS.



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 5



SECCIÓN B-B
ESCALA 1 : 5



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA
CAMPUS D'ALCOI

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE
ALCOY-EPSA

AUTOR: Damià Castaño del Olmo

SITUACIÓN: Alcoy (Alicante)

PROYECTO: Trabajo Final de Grado

FECHA: 29/06/2019

Nº PLANO: Nº1

TÍTULO: Cuadro de bicicleta

ESCALA: 1: 10

A3

