



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

**Diseño y análisis estructural de un
cuadro de bicicleta de montaña con
materiales de alta ligereza**

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

Autor:

D. Mihai Marius Slabu

Dirigido por:

Dr. Rafael Antonio Balart Gimeno

Julio 2020

Agradecimientos

A mi profesor y tutor Rafael Antonio Balart Gimeno por empujarme y enseñarme un nuevo mundo.

A Marina Karnyshina por ayudarme y apoyarme todo este tiempo.

A mis amigos por animarme y estar siempre a mi lado

Y a mis padres, porque sin ellos no sería quien soy hoy.

RESUMEN

Diseño y análisis estructural de un cuadro de bicicleta de montaña con materiales de alta ligereza

El objetivo de este trabajo es hacer un análisis estructural sobre un cuadro de bicicleta de montaña mediante el uso de software de modelación y simulación 3d (SolidWorks) para analizar que tipo de material es el optimo comparando materiales convencionales con los materiales de alta gama.

La primera fase constara en construir el modelo 3d basándonos en el diseño clásico de las bicicletas de montañas. Después se simulara el comportamiento de distintos materiales en distintas condiciones dinámicas de entorno.

SUMMARY

Design and structural analysis of an mountain bike frame with low weight materials

The objective of this project is to make a structural analysis of a mountain bicycle frame with the help of an 3d modeling and simulation software (SolidWorks) so that we can analyze what material is the most appropriate.

Firstly, we do the 3d modeling of the frame using a classic mountain bike frame design. Later we simulate the behavior of different materials under different dynamic conditions.

Tabla de Contenidos

Diseño y análisis estructural de un cuadro de bicicleta de montaña con materiales de alta ligereza	1
RESUMEN	3
SUMMARY	5
LISTADO DE FIGURAS	11
LISTADO DE TABLAS.....	15
I. INTRODUCCIÓN	17
I.1. ANTECEDENTES.....	18
I.1.1 Historia	18
I.2. Estudio de mercado	26
II. OBJETIVOS.....	32
II.1. OBJETIVO GENERAL.....	33
II.2. OBJETIVOS PARTICULARES.	33
III. DESARROLLO PROYECTO	37
III.1. DISEÑO INICIAL PROTOTIPOS.....	38
III.2. NORMATIVA APLICABLE.....	51
III.3. ESTUDIO Y DEFINICIÓN DE ESTADOS TENSIONALES....	52
III.3.1 Primer ensayo. Simulación peso ciclista.....	52
III.3.2 Segundo ensayo. Fatiga por fuerzas horizontales	52
III.3.3 Tercer ensayo. Fatiga por fuerzas de pedaleo	53
III.4. SELECCIÓN DE MATERIALES.	55
III.4.1 Acero	55

III.4.2 Aluminio.....	57
III.4.3 Titanio	59
III.3.4 Fibra de carbono	60
III.5. FABRICACIÓN.	64
III.6. ESTUDIO Y DEFINICIÓN DE CONDICIONES DE CONTORNO.	70
III.7. SIMULACIÓN MEDIANTE FEM.....	71
III.7.1. Modelo FEM proyecto.	71
<i>III.7.1.1. Aplicación de estados tensionales.</i>	<i>71</i>
<i>III.7.1.1.1. Primer ensayo.....</i>	<i>71</i>
.....	72
.....	73
<i>III.7.1.1.2. Segundo ensayo</i>	<i>75</i>
.....	76
<i>III.7.1.1.3. Tercer ensayo.....</i>	<i>76</i>
<i>III.7.1.2. Aplicación de materiales.....</i>	<i>79</i>
III.7.2. Comparación de resultados del análisis.....	82
<i>III.7.2.1 Ensayo 1</i>	<i>82</i>
<i>III.7.2.2 Ensayo 2</i>	<i>84</i>
<i>III.7.2.3 Ensayo 3</i>	<i>86</i>
III.8. Conclusiones.	88
IV. APÉNDICES	90
IV.1. Resultados del análisis.	91
<i>IV.1.1 Acero.</i>	<i>91</i>
<i>IV.1.1.1 Primer ensayo.</i>	<i>91</i>
<i>IV.1.1.2 Segundo ensayo.....</i>	<i>95</i>

<i>IV.1.1.3 Tercer ensayo</i>	99
<i>IV.1.2 Aluminio</i>	102
<i>IV.1.2.1 Primer ensayo</i>	102
<i>IV.1.2.2 Segundo ensayo</i>	104
<i>IV.1.2.3 Tercer ensayo</i>	107
<i>IV.1.3 Titanio</i>	110
<i>IV.1.3.1 Primer ensayo</i>	110
<i>IV.1.3.2 Segundo ensayo</i>	112
<i>IV.1.3.3 Tercer ensayo</i>	115
<i>IV.1.4 Fibra de Carbono</i>	118
<i>IV.1.4.1 Primer ensayo</i>	118
<i>IV.1.4.2 Segundo ensayo</i>	120
<i>IV.1.4.3 Tercer ensayo</i>	122
IV.2. REFERENCIAS	124

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Bicicleta convencional.	19
Figura 2. Posible creación de Leonardo Da Vinci.	20
Figura 3. Posible creación de Mede Sivrac.....	20
Figura 4. Primera bicicleta. Creación de Karl von Dreis.....	21
Figura 5. Bicicleta de Kirckpatrick Macmillan.	22
Figura 6. Rueda de Robert William Thomson.....	22
Figura 7. Bicicleta de Ernest Michaux.	23
Figura 8. Bicicleta de James Starley.	24
Figura 9. Thomas Stevens al lado de su bicicleta.....	24
Figura 10. Evolución de la bicicleta.	25
Figura 11. 18V	26
Figura 12. ST 530.....	27
Figura 13. Pinhoti XTR.....	28
Figura 14. Foxy Carbon XR	29
Figura 15. Medidas geométricas del cuadro.....	38
Figura 16. Plantilla de soldadura.	65
Figura 17. Rollo de fibra de carbono Prepreg.....	66
Figura 18. Horno autoclave.....	67
Figura 19. Ejemplo de cuadro tras el proceso de lijado.	68
Figura 20. Anclaje rodamiento ensayo 1	71
Figura 21. Anclaje de rodamientos ensayo 1	71
Figura 22. Fijación telescopio ensayo 1	72

Figura 23. Centro sistema coordenadas local ensayo 1.....	73
Figura 24. Posición fuerza manillar ensayo 1.....	73
Figura 25. Posición fuerza manillar ensayo 1.....	73
Figura 26. Fuerza sobre asiento ensayo 1.....	74
Figura 27. Fuerza sobre caja pedalier ensayo 1.....	74
Figura 28. Anclaje de rodamientos ensayo 2.....	75
Figura 29. Ubicación de la carga a distancia ensayo 2.....	76
Figura 30. Anclaje de rodamiento ensayo 3.....	77
Figura 31. Anclaje geometría fija ensayo 3.....	77
Figura 32. Coordenadas fuerza de pedaleo ensayo 3.....	78
Figura 33. Propiedades del acero.....	79
Figura 34. Propiedades del aluminio.....	80
Figura 35. Propiedades del titanio.....	81
Figura 36. Ensayo 1.....	82
Figura 37. Factor de Seguridad resultante del Ensayo 1.....	83
Figura 38. Ensayo 2.....	84
Figura 39. Factor de Seguridad resultante del Ensayo 2.....	85
Figura 40. Ensayo 3.....	86
Figura 41. Factor de Seguridad resultante Ensayo 3.....	86
Figura 42. Cargas ensayo 1.....	91
Figura 43. Resultado del análisis estático acero. Tensiones resultantes.....	92
Figura 44. Resultado del análisis estático para acero. Deformaciones resultantes.....	93
Figura 45. Acero. Resultado de estudio de tensiones de acero. Factor de seguridad.....	94
Figura 46. Esfuerzos sobre el cuadro ensayo 2.....	95

Figura 47. Acero. Ensayo 2. Tensiones	96
Figura 48. Acero. Ensayo 2. Deformación.....	96
Figura 49. Acero. Ensayo 2. Factor de seguridad mínimo.....	97
Figura 50. Acero. Ensayo 2. Porcentaje daño.....	97
Figura 51. Acero. Ensayo 2. Vida útil	98
Figura 52. Acero. Ensayo 3. Tensiones	99
Figura 53. Acero. Ensayo 3. Deformaciones	100
Figura 54. Acero. Ensayo 3. Factor de seguridad.....	100
Figura 55. Acero. Ensayo 3. Daño por Fatiga	101
Figura 56. Aluminio. Ensayo 1. Tensiones.....	102
Figura 57. Aluminio. Ensayo 1. Deformaciones.....	103
Figura 58. Aluminio. Ensayo 1. Factor de Seguridad.....	103
Figura 59. Aluminio. Ensayo 2. Tensiones.....	104
Figura 60. Aluminio. Ensayo 2. Deformaciones.....	104
Figura 61. Aluminio. Ensayo 2. Factor de Seguridad.....	105
Figura 62. Aluminio. Ensayo 2. Daño por fatiga.....	105
Figura 63. Aluminio. Ensayo 2. Ciclos de vida.	106
Figura 64. Aluminio. Ensayo 3. Tensiones.....	107
Figura 65. Aluminio. Ensayo 3. Deformaciones.....	107
Figura 66. Aluminio. Ensayo 3. Factor de Seguridad.....	108
Figura 67. Aluminio. Ensayo 3. Daño por Fatiga.....	109
Figura 68. Titanio. Ensayo 1. Tensiones	110
Figura 69. Titanio. Ensayo 1. Deformaciones.	111
Figura 70. Titanio. Ensayo 1. Factor de seguridad.....	111

Figura 71. Titanio. Ensayo 2. Tensiones.	112
Figura 72. Titanio. Ensayo 2. Deformaciones.	113
Figura 73. Titanio. Ensayo 2. Factor de seguridad.....	113
Figura 74. Titanio. Ensayo 2. Daño por Fatiga.	114
Figura 75. Titanio. Ensayo 2. Ciclos de Vida.	114
Figura 76. Titanio. Ensayo 3. Tensiones.	115
Figura 77. Titanio. Ensayo 3. Deformaciones.	116
Figura 78. Titanio. Ensayo 3. Factor de Seguridad.	116
Figura 79. Titanio. Ensayo 3. Daño por Fatiga.	117
Figura 80. Fibra de carbono. Ensayo 1. Tensiones	118
Figura 81. Fibra de carbono. Ensayo 1. Deformaciones	119
Figura 82. Fibra de carbono. Ensayo 1. Factor de seguridad	119
Figura 83. Fibra de carbono. Ensayo 2. Tensiones	120
Figura 84. Fibra de carbono. Ensayo 2. Deformaciones	121
Figura 85. Fibra de carbono. Ensayo 2. Factor de seguridad	121
Figura 86. Fibra de carbono. Ensayo 3. Tensiones	122
Figura 87. Fibra de carbono. Ensayo 3. Deformaciones	123
Figura 88. Fibra de carbono. Ensayo 3. Factor de seguridad	123

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Dimensiones del cuadro	39
Tabla 2. Segundo ensayo. Fuerzas y ciclos en las punteras de la horquilla delantera ...	52
Tabla 3. Ensayo 3. Fuerzas en el eje del pedal.....	54
Tabla 4. Composición química, propiedades mecánicas y físicas del Reynolds 525.....	56
Tabla 5. Composición química, propiedades físicas y mecánicas del Al 6061	57
Tabla 6. Composición química, propiedades mecánicas y físicas del Ti-6Al-4V	59
Tabla 7. Propiedades de la FC de alto modulo.....	61
Tabla 8. Propiedades de la resina epoxi	62
Tabla 9. Propiedades de la lamina resultante	62
Tabla 10. Distribución de fuerzas ensayo 1	72
Tabla 11. Distribución de fuerza ensayo 2.....	75
Tabla 12. Fuerzas sobre cada pedal ensayo 3	78
Tabla 13. Coordenadas aplicación de la aplicación de fuerza ensayo 3	78
Tabla 14. Resultados Ensayo 1.....	82
Tabla 15. Resultados Ensayo 2.....	84
Tabla 16. Resultados Ensayo 3.....	86
Tabla 17. Resultados completos análisis	87

I. INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

I. Introducción

I.1. ANTECEDENTES.

Comenzamos el proyecto con una introducción al mundo de las bicicletas, historia y un pequeño estudio de mercado.

I.1.1 Historia

La bicicleta es uno de los métodos de transportes mas comunes hoy en día, pero esto no ha sido siempre lo mismo. Si nos fijamos en el origen de la palabra en griego bi significa dos y cicleta, que se traduciría a kyklos en griego, significa círculos.

También existen otros tipos de transporte impulsados por energía cinética inspirados en bicicleta como lo es el triciclo o monociclo.

La bicicleta es un medio de transporte bastante aceptado en la sociedad sobre todo en los países como China, India, Suiza, Alemania, Países Bajos, Bélgica y Polonia donde se considera como el principal transporte. Sin ir más lejos, hace unos pocos años, en Valencia se han creado vías de bicicletas para facilitar el transporte de los conductores de estos vehículos.

Esta aceptación se debe a que este vehículo es bastante simple, ecológico, económico, sano, sostenible y bastante seguro en comparación con otros vehículos.

Se trata de un vehículo de propulsión humana, impulsado por el propio usuario con esfuerzo muscular de las piernas sobre los pedales y consiguiendo así rotación consecutiva de la rueda y de esta manera desplazarse hacia delante.

El funcionamiento de la bicicleta debe consistir en la transmisión de la energía cinética de los pedales a la rueda trasera a través de la cadena que recorre el eje de los piñones (que se encuentra en el eje de la rueda) y de los platos del vehículo (que se encuentran en el eje del pedal). Depende de los piñones y platos la velocidad del vehículo en función de la frecuencia del pedaleo.

I. Introducción

Mediante la zona del cuadro (que se compone de tubos y vainas de cuadros) se conectan los pedales, rueda trasera, rueda delantera, el manillar, freno, cambio de marchas, asiento, etc.

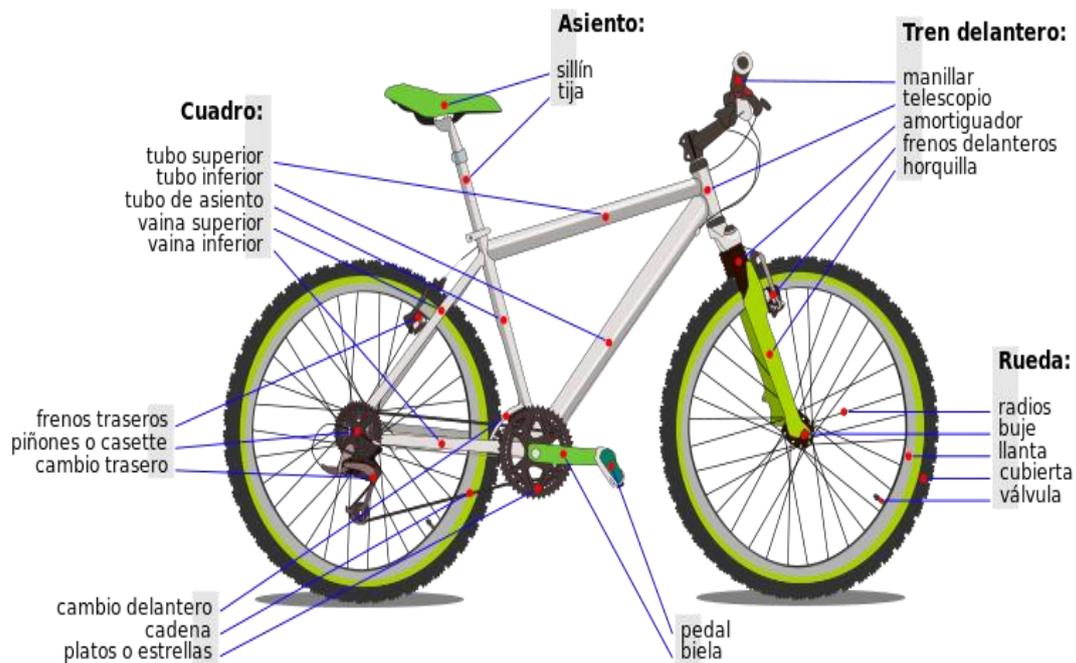


Figura 1. Bicicleta convencional.

<https://sites.google.com/site/provabbtlluc/pla-de-martis>

Este siendo el diseño mas común hoy en día, no siempre fue así, se tuvo que innovar muchas veces para llegar al resultado final que vemos y aún hoy en día hay más innovaciones.

Existen ciertas hipótesis de que la primera bicicleta fue creada por Leonardo Da Vinci incluyendo la cadena de impulso como la que podemos observar en la figura 2, no obstante, el investigador alemán Hans-Erhard Lessing demostró en 1997 que esos datos fueron introducidos en 1961.

I. Introducción

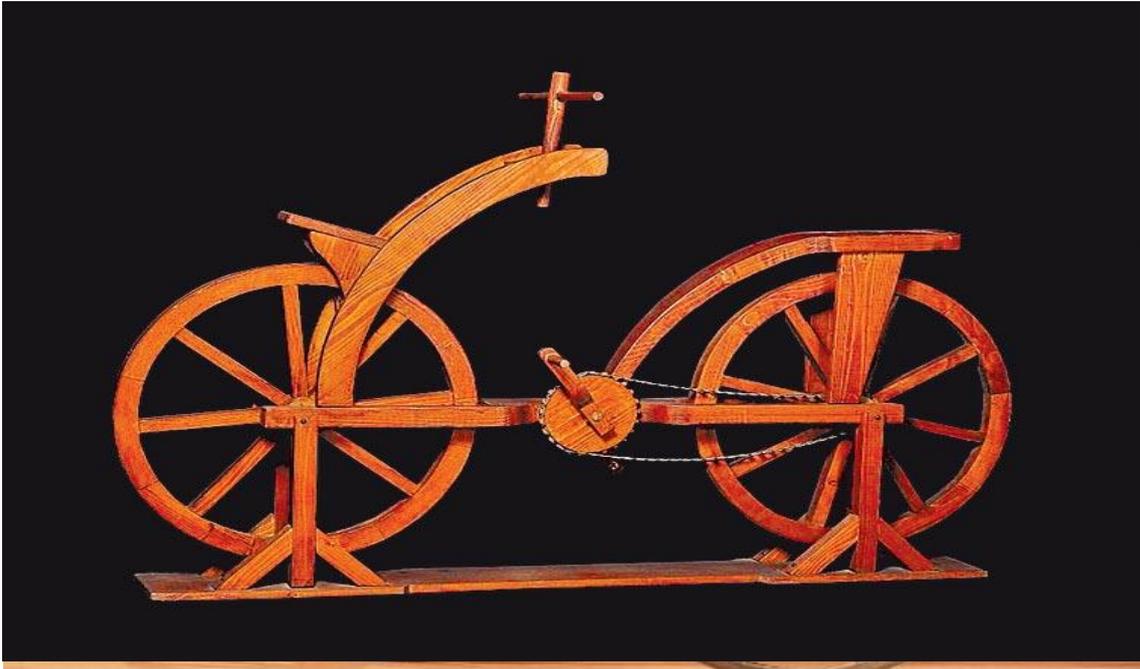


Figura 2. Posible creación de Leonardo Da Vinci.

<http://ricardomoralesldi.blogspot.com/2016/09/>

Otra hipótesis afirma el francés conde Mede Sivrac ha inventado el celerífero, pero Rauck Max, J. B. Volke, Gerd. Paturi y Félix R. demostraron que también fue mentira.



Figura 3. Posible creación de Mede Sivrac.

<http://ricardomoralesldi.blogspot.com/2016/09/>

I. Introducción

Realmente la primera bicicleta fue creada en 1817, por el inventor alemán Karl Von Dreis (en 1816 la planificó y en 1817 fue construida y expuesta).



Figura 4. Primera bicicleta. Creación de Karl von Dreis.

<https://sykkelhistorie.blogspot.com/2014/02/dresinen-og-hobby-horse.html>

Como se puede observar, la bicicleta de Dreis no llevaba pedales ni ningún otro mecanismo de impulso aparte de las propias piernas del conductor. Este invento a día de hoy tiene 202 años. La máquina adicionalmente era famosa por el nombre de “la máquina andante” o “velocepede”.

Karl von Dreis no creó únicamente la bicicleta mencionada, sino también inventó una máquina para las teclas de piano y maquina de escribir de 25 letras (creada para su padre que poco a poco perdía la vista).

En 1839 un escocés llamado Kirkpatrick Macmillan añadió unos pedales, lo que permitió impulsar la máquina con los pies sin tocar el suelo. El mecanismo de impulsión consistía en pedales cortos fijados a la rueda trasera (más grande que la delantera) y conectados por barras a unos pedales situados delante del ciclista. Desgraciadamente el inventor no patentó ni vendió su invento.

I. Introducción



Figura 5. Bicicleta de Kirckpatrick Macmillan.

<http://gdyniarippers.blogspot.com/2010/05/z-cyklu-historia-dwoma-koami-sie-toczy.html>

Seis años más tarde, en 1845, Robert William Thomson sustituyó las ruedas de madera del invento de Kirckpatrick por unas ruedas con neumáticos hinchables. pero no tuvo mucho éxito.



Figura 6. Rueda de Robert William Thomson.

<https://autozurnal.com/z-historie-slovenskych-pneumatik>

I. Introducción

Después ha habido más innovaciones como los de Philip Moritz y Galloux que construyeron bicicletas a pedales para uso particular. Pero tan solo el invento de Ernest Michaux llamó la atención de las clases populares y por ello tuvo éxito. Lo que hizo Ernst fue añadir pedales al invento de Dreis. Empezó a producir en serie bicicletas con el cuadro y las ruedas de madera, y estas última llevaban una banda de hierro que era la que tocaba el suelo. Los pedales estaban colocados en la delantera, que era un poco más alta que la rueda de atrás.

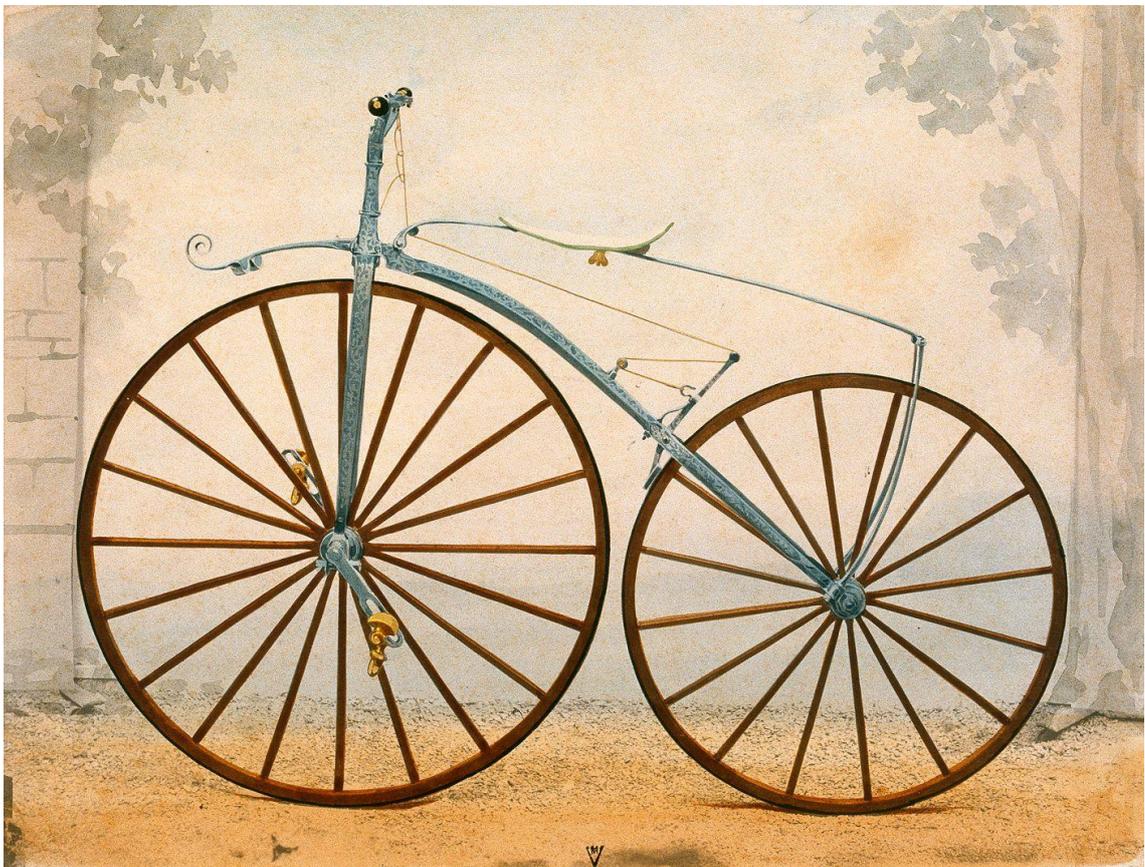


Figura 7. Bicicleta de Ernest Michaux.

<https://www.elvigia.net/palabra/2017/11/5/honor-aos-invincin-bicicleta-287402.html>

En 1873 James Starley, un inventor inglés, creó la famosa bicicleta de rueda alta. La rueda delantera era tres veces mas grande que la trasera. Su uso se hizo muy popular durante la década de las 1870 y los 1880.

I. Introducción



Figura 8. Bicicleta de James Starley.

<http://diogenesclubarchives.blogspot.com/2013/>

Un norteamericano Thomas Stevens realizó el primer viaje en bicicleta alrededor del mundo con la bicicleta de Starley. Partió de San Francisco y pedaleó durante 3 años.



THOMAS STEVENS.—PHOTOGRAPHED BY FLAGLER.

Figura 9. Thomas Stevens al lado de su bicicleta.

<https://www.bttbike.com/mtb/456307-vuelta-thomas-stevens-parte-oacute-mundo-di-bicicleta>

I. Introducción

En 1885, John Kemp Starley creó Safety Bicycle, que es la más parecida a una bicicleta urbana de ahora. Tenía frenos y la postura era mucho más cercana al suelo. Se añadieron poco después, en 1888, los neumáticos con cámara de aire desarrollados por John Boyd Dunlop, cuyo tubo interior se rellena de aire amortiguando parte del golpeteo contra los caminos. Las ruedas eran casi del mismo tamaño y los pedales, unidos a una rueda dentada a través de engranajes y una cadena de transmisión, movían la rueda de atrás. La bicicleta de seguridad se extendió rápidamente por todo el mundo industrializado y su precio iba bajando cada vez más.

Mas tarde, los hermanos Michelin consiguieron crear neumáticos recambiables.

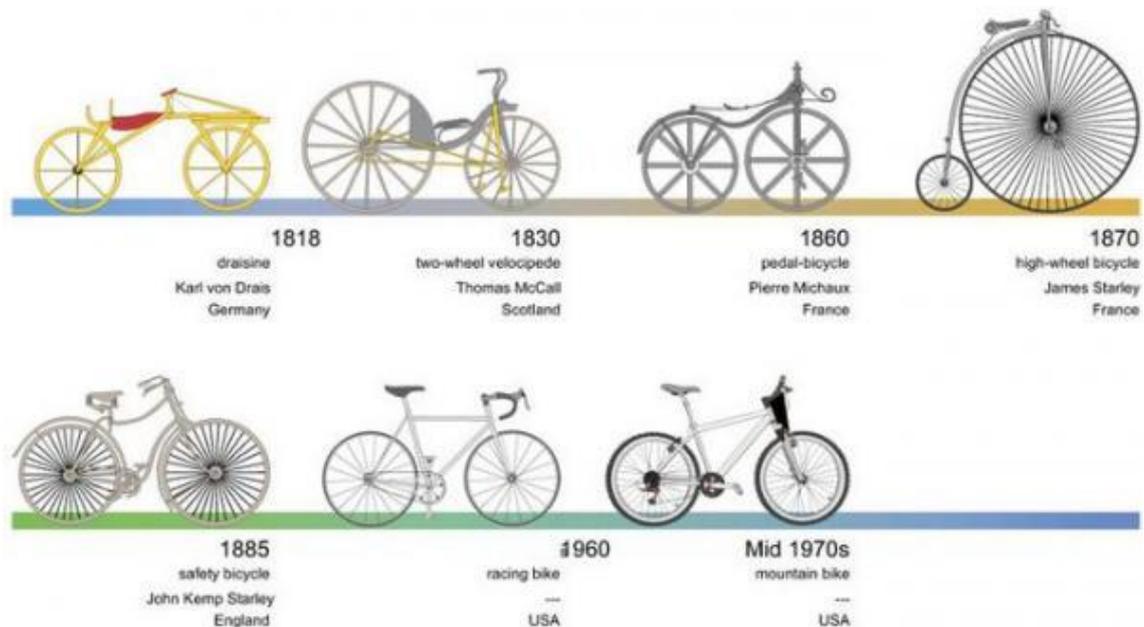


Figura 10. Evolución de la bicicleta.

<https://www.infobilder.com/bilde-sykkelens-historie-i9809.html>

El 31 de mayo de 1889 nació oficialmente el deporte nombrado ciclismo. Los hermanos Olivier organizaron una carrera en el parque de Saint Cloud de París con 1200 metros de recorrido en la que tomaron parte unos pocos ciclistas. De ahí nació la competición de ciclismo que conocemos hoy en día.

I. Introducción

I.2. Estudio de mercado

Para realizar este análisis es importante averiguar cuanto afecta al coste el material que compone el cuadro de la bici:



Figura 11. 18V

<https://www.carrefour.es/bicicleta-mtb-27-5-h-indur-18v-steel-white-v-brake-17-18-talla-m/VC4A-2400341/p>

Marca: Indur

Modelo: 18V

Precio: 130 €

Material: Acero

Tipo de bicicleta: Mixta

I. Introducción



Figura 12. ST 530

https://www.decathlon.es/es/p/bicicleta-de-montana-rockrider-530-27-5-negro/_/R-p-313339?mc=8576953&c=NEGRO

Marca: RockRider

Modelo: ST 530

Precio: 320 €

Material: Aluminio 6061

Tipo de bicicleta: Bicicleta de montaña

Peso: 1.9 kg (Cuadro)

I. Introducción



Figura 13. Pinhoti XTR

<https://litespeed.com/collections/titanium-mountain-bikes/products/litespeed-pinhoti-xtr?variant=29508460380235>

Marca: Litespeed

Modelo: Pinoti XTR

Precio: 4.999 €

Material: Titanio

Tipo de Bicicleta: Bicicleta de montaña

Peso: 1.8 kg (Cuadro)

I. Introducción



Figura 14. Foxy Carbon XR

<https://www.bikester.es/mondraker-foxy-carbon-xr-275-mtb-doble-suspension-negro-886851.html>

Marca: Mondraker

Modelo: Foxy Carbon XR

Precio: 5.999 €

Material: Fibra de carbono

Tipo de bicicleta: Enduro

Peso: 2.5 kg (cuadro + otras piezas)

I. Introducción

Como se puede observar el material afecta mucho el coste, las bicicletas de acero suelen ser las mas baratas rodeando entre 100 € y 300 €, las bicicletas de aluminio suelen empezar desde 250 € y pueden llegar hasta 1000 € e incluso mas, una vez llegado a las bicicletas de titanio y fibra de carbono el coste se eleva a miles de euros empezando desde 1500 € para las bicicletas más “sencillas” pudiendo sobrepasar 20.000 € y mas para modelos especiales.

I. Introducción

II. OBJETIVOS

OBJETIVOS

II. OBJETIVOS

II.1. OBJETIVO GENERAL.

Hoy en día la demanda de medios de transportes limpios hace que la bicicleta sea cada vez más popular y esto a su vez hace que se busquen nuevas técnicas de fabricación y nuevos materiales ecológicos para satisfacer esta demanda.

Dado que hay tantos tipos y modelos de bicicletas distintos, en este trabajo nos vamos a concentrar sobre las bicicletas de montaña y concretamente sobre su cuadro o el chasis de la bicicleta. Debido a este hecho no vamos a analizar el comportamiento de las ruedas, frenos o suspensión solo analizaremos el comportamiento del cuadro cambiando el material de que va a estar compuesto, ya que el material dicta las propiedades que va a tener la bicicleta mientras que el material esta dictado por el coste de fabricación de la bicicleta.

II.2. OBJETIVOS PARTICULARES.

Los objetivos que hay que cumplir para alcanzar nuestro objetivo general son:

- **Diseño y modelación 3d del cuadro**

Creación del modelo 3d del cuadro mediante un software de diseño tridimensional (en este proyecto SolidWorks)

- **Análisis de los distintos materiales**

Investigación de los materiales mas usados en la industria del ciclismo y selección de los mas adecuados para este análisis.

- **Análisis estático y dinámico del cuadro mediante software FEM**

Simulación de distintas condiciones de carga para observar el comportamiento de cada cuadro con el distinto material

II. OBJETIVOS

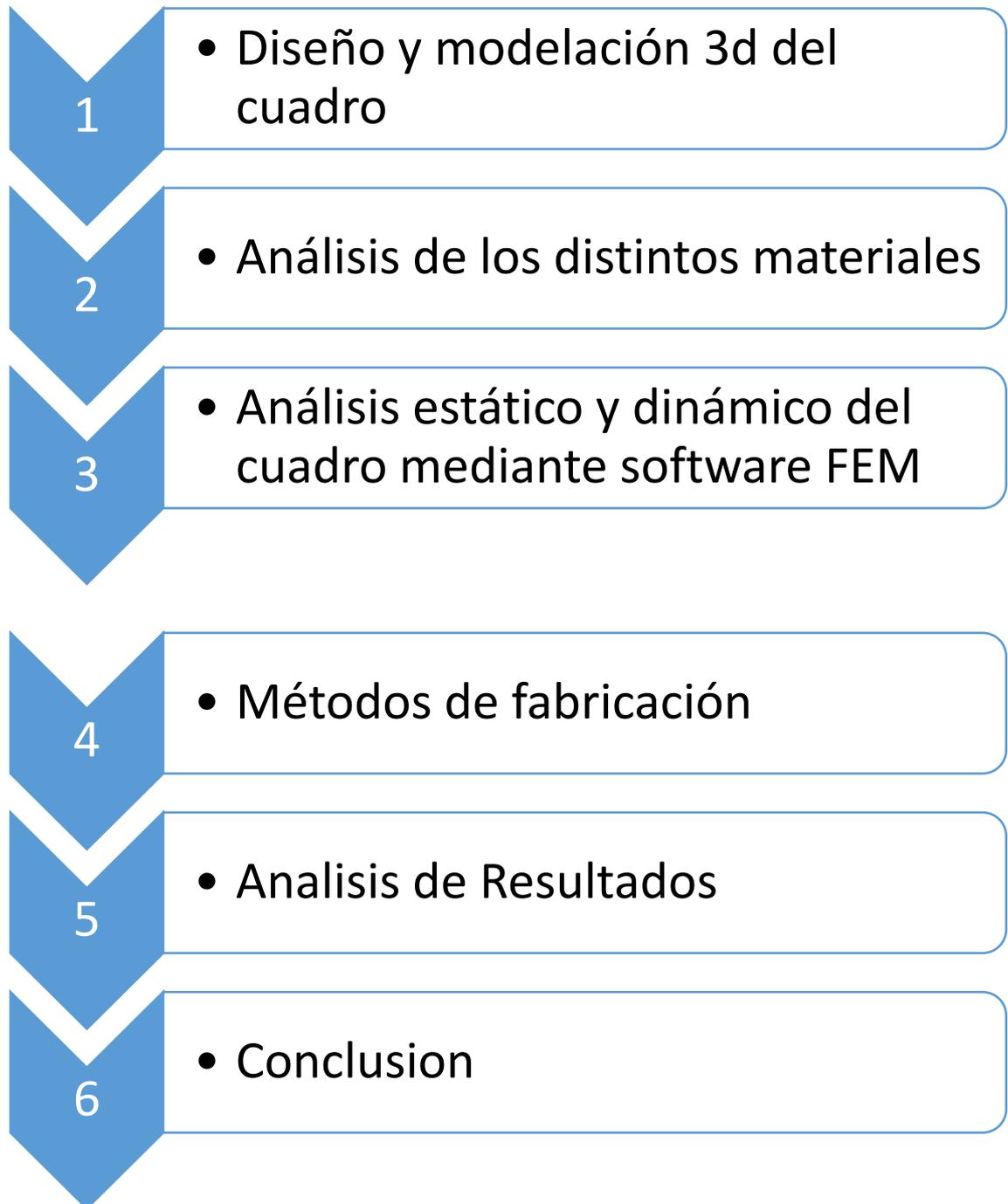
- **Métodos de fabricación**

Estudio de los distintos métodos de fabricación de los cuadros de bicicletas y nuevas técnicas.

- **Análisis de resultados**

Comparación entre los distintos materiales usando los resultados de los ensayos establecidos

II. OBJETIVOS



II. OBJETIVOS

III. DESARROLLO PROYECTO

DESARROLLO PROYECTO

III. Desarrollo proyecto

III.1. DISEÑO INICIAL PROTOTIPOS.

Para la modelación del cuadro se ha usado SolidWorks. Se va a hacer un diseño clásico de doble triángulos. Empezamos por las medidas geométricas, que vienen siendo la figura 15. Las dimensiones contenidas de cada parte del cuadro están detalladas en la tabla 1.

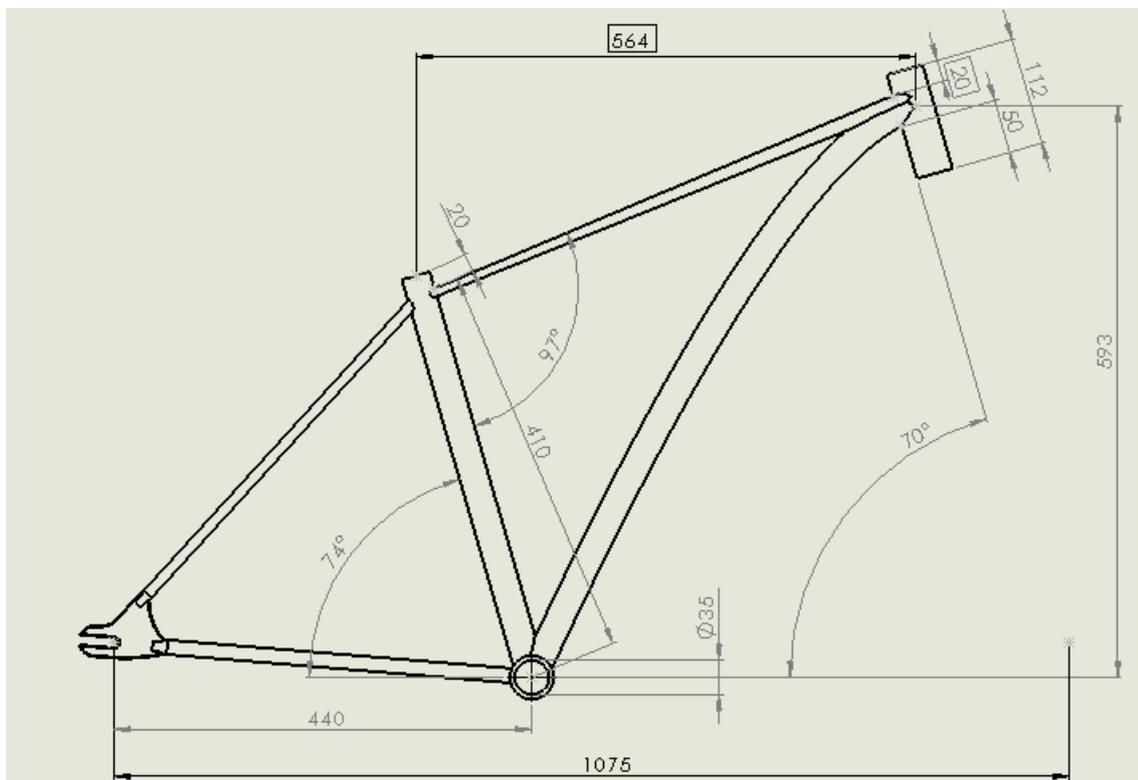


Figura 15. Medidas geométricas del cuadro

III. Desarrollo proyecto

Tabla 1. Dimensiones del cuadro

Seat Tube	Tubo de asiento	430
Top Tube	Tubo superior	564
Head Tube	Telescopio	108
Chain Stay	Vaina	440
BB Height	Altura del pedalier	312.5
BB Drop	Distancia del pedalier hasta el centro de las ruedas (Distancia entre pedalier y el eje de las ruedas)	45
Wheelbase	Distancia entre los ejes de las ruedas	1075
Head Angle	Angulo entre el tenedor y suelo	70°
Seat Angle	Angulo entre tubo del asiento y tubo superior	74°
Standover	Altura estando de pie	815.67
Reach		394
Stack	Altura desde asiento hasta el pedalier	593
Fork Length	Longitud del tenedor	490
Offset		42

Una vez que se tiene el modelo geométrico se va a usar como “croquis” para modelar la bicicleta.

III. Desarrollo proyecto

Se comienza por la parte inferior del cuadro, el cilindro donde van a estar colocados los rodamiento y los pedales. Para esto vamos a hacer una extrusión del cilindro de 64 mm de longitud partiendo de dos círculos con diámetro de 35 y 40 mm respectivamente. A esta parte le vamos a llamar Caja pedalier.

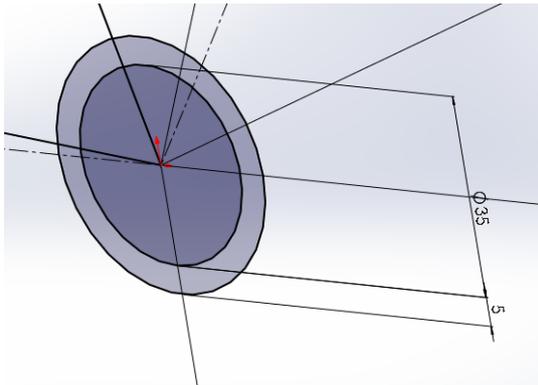


Figura 17. Geometría Caja pedalier

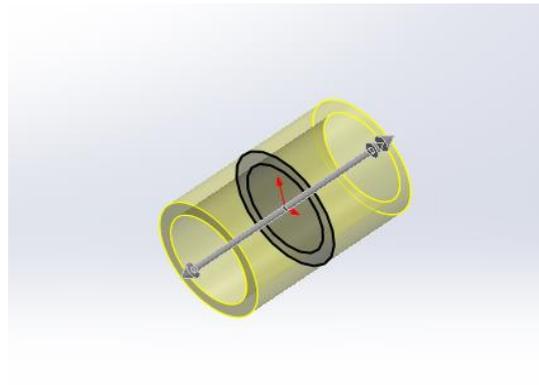


Figura 18. Extrusión Caja pedalier

Después procedemos a extruir el tubo del asiento, este partirá desde la Caja pedalier. Pero primero se crea un plano perpendicular a la línea del tubo del asiento (figura x) y después hacemos el croquis del tubo que consta de dos círculos concéntricos, el grande de 30 mm de diámetro y el interior de 24 mm de diámetro, dándole un grosor de 3 mm al tubo. Una vez tenemos esto extruimos un tubo de 430mm, suficientemente largo para que atraviese la Caja pedalier.

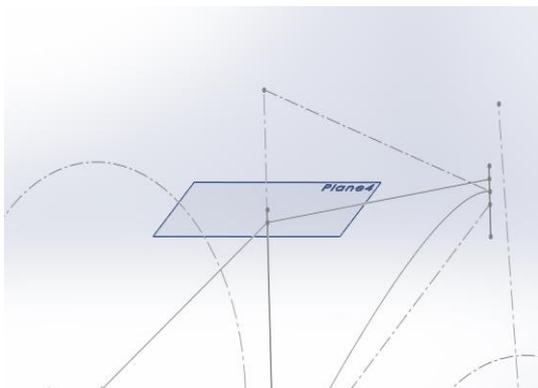


Figura 19. Creación plano auxiliar

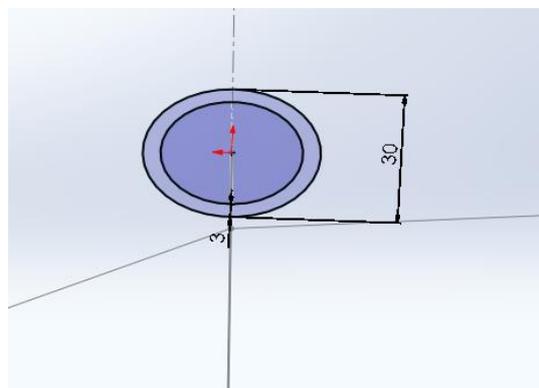


Figura 20. Geometría tubo de asiento

III. Desarrollo proyecto



Figura 21. Extrusión Tubo de asiento

El siguiente paso es volver a hacer un plano perpendicular, esta vez perpendicular con la línea del tubo de cabeza, para poder realizar el croquis de la extrusión. La extrusión tendrá 112 mm de longitud partiendo de un círculo de 38 mm de diámetro y teniendo un grosor de 3.5 mm.

III. Desarrollo proyecto

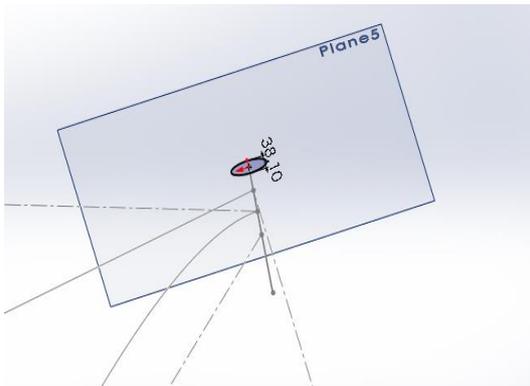


Figura 22. Creación plano auxiliar

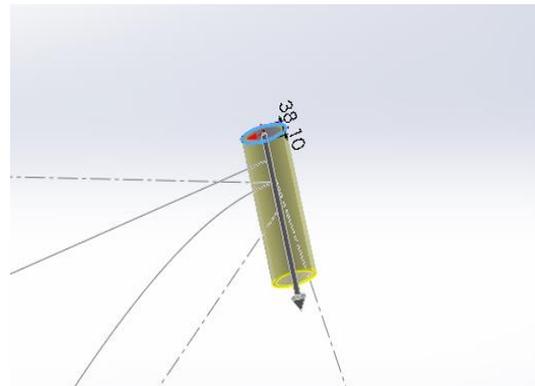


Figura 23. Extrusión Tubo de cabeza

Una vez tenemos el tubo de cabeza podemos unirle con el tubo del asiento mediante el tubo superior. Esta vez realizamos 2 planos perpendiculares a la línea del tubo superior para poder hacer los croquis que nos van a servir como base para el proceso de recubrimiento (Loft) que formara el tubo superior. El croquis de este recubrimiento consta de dos ovals que miden 24 x 4 mm y 38 x 8 mm respectivamente.

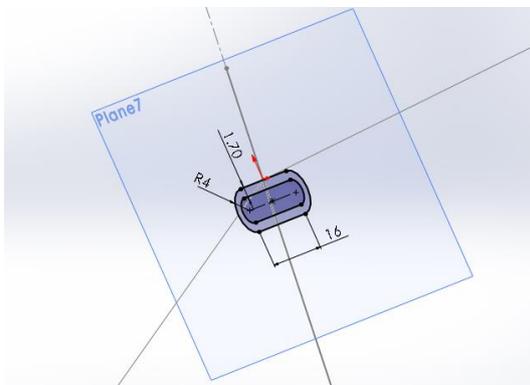


Figura 24. Geometría de la parte inferior del Tubo superior

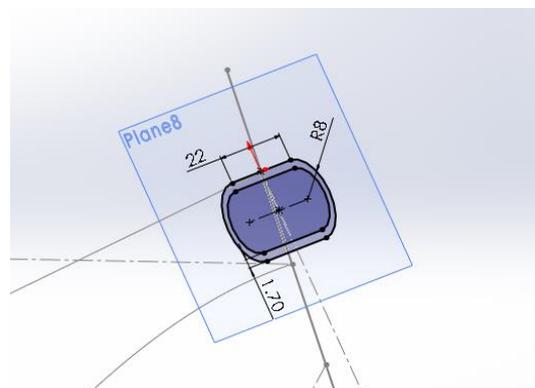


Figura 25. Geometría de la parte superior del Tubo superior

III. Desarrollo proyecto

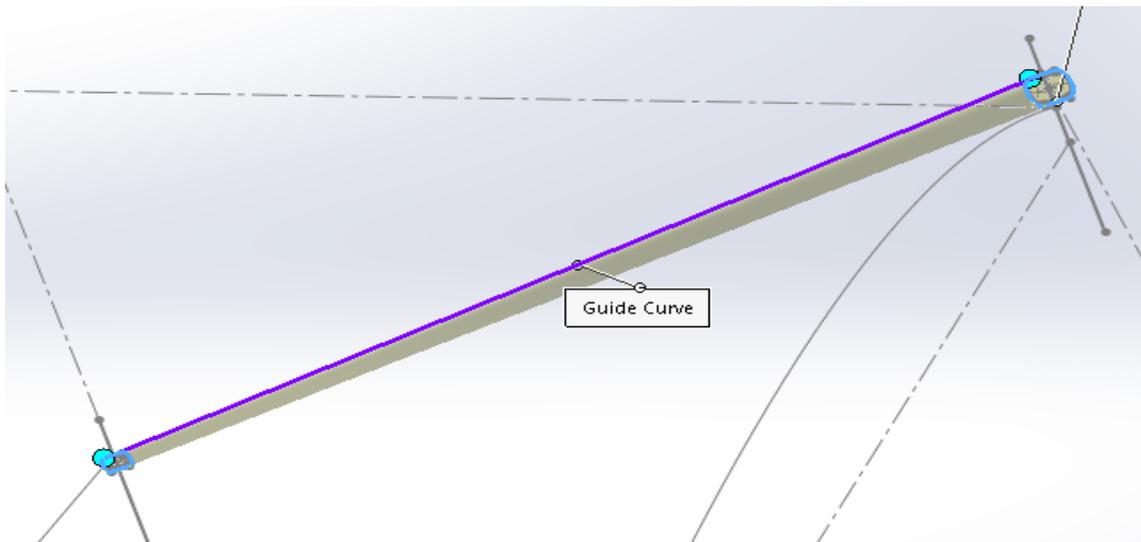


Figura 26. Loft del Tubo superior

El siguiente paso es conectar el telescopio y la caja pedalier mediante el tubo inferior. Para esta parte emplearemos una función de base barrido que parte de un croquis de un ovalo de 20 x 10 mm. Para alinear el croquis en la dirección que nos hace falta usaremos un plano perpendicular a la línea del tubo inferior.

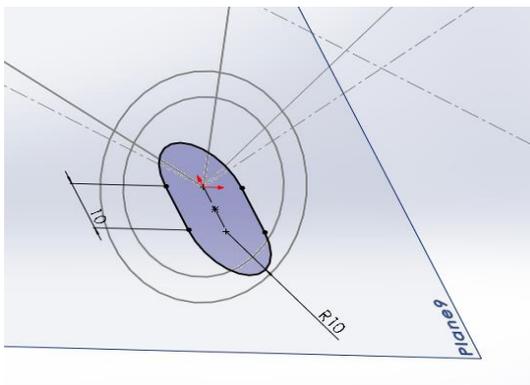


Figura 27. Geometría de la parte inferior del Tubo inferior

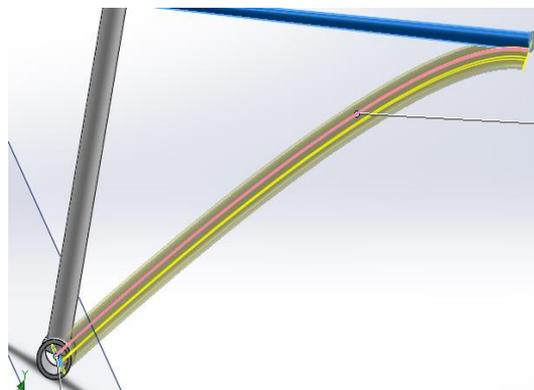


Figura 28. Base Barrido del Tubo inferior

III. Desarrollo proyecto

Con el primer triangulo acabado pasamos al segundo triangulo. Primero empezamos con la patilla de cambio. Para este proceso usaremos un plano paralelo al plano de alzado a 40 mm de distancia. A partir del croquis extruimos 7 mm para conseguir la patilla de cambio.

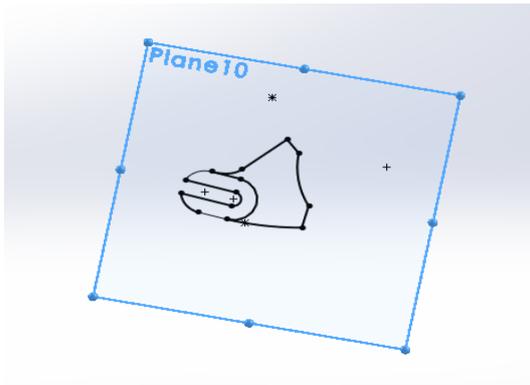


Figura 29. Geometría patilla de cambio

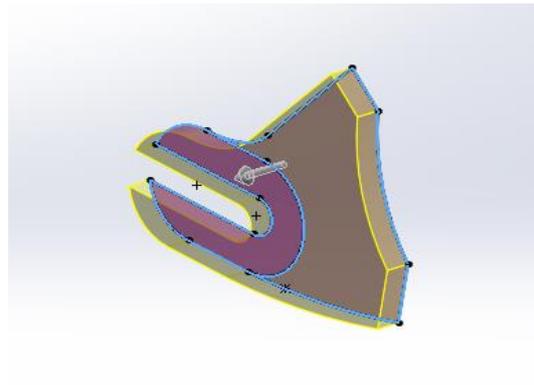


Figura 30. Extrusión patilla de cambio

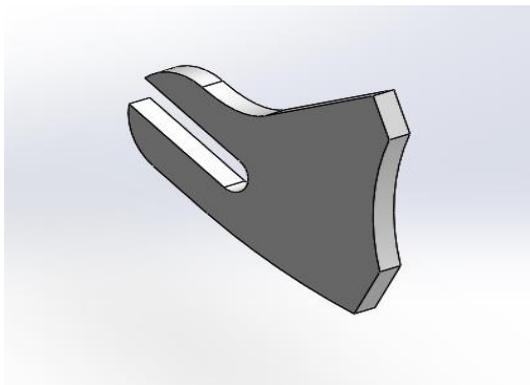


Figura 31. Patilla de cambio pre-redondeo

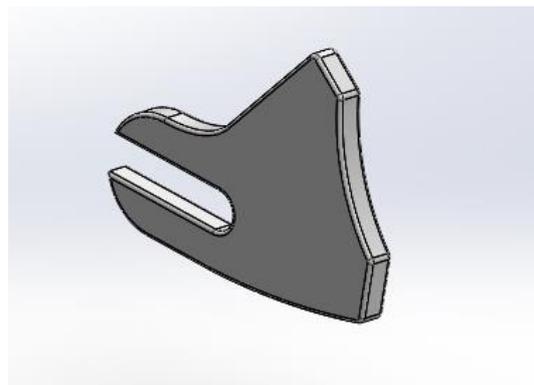


Figura 32. Patilla de cambio con redondeo de 1mm

III. Desarrollo proyecto

Después pasamos a preparar la patilla de cambio para que pueda estar unida a las vainas que vamos a hacer luego. Esto consiste en hacer dos extrusiones que servirán como punto de anclaje:

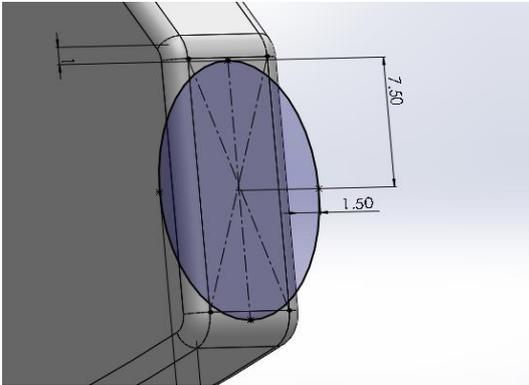


Figura 33. Geometría del cabezal de la vaina izquierda

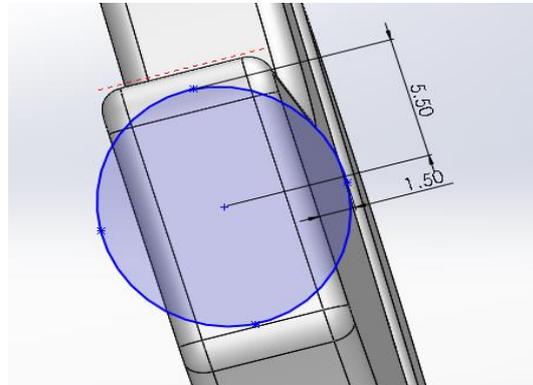


Figura 34. Geometría del cabezal de la vaina derecha

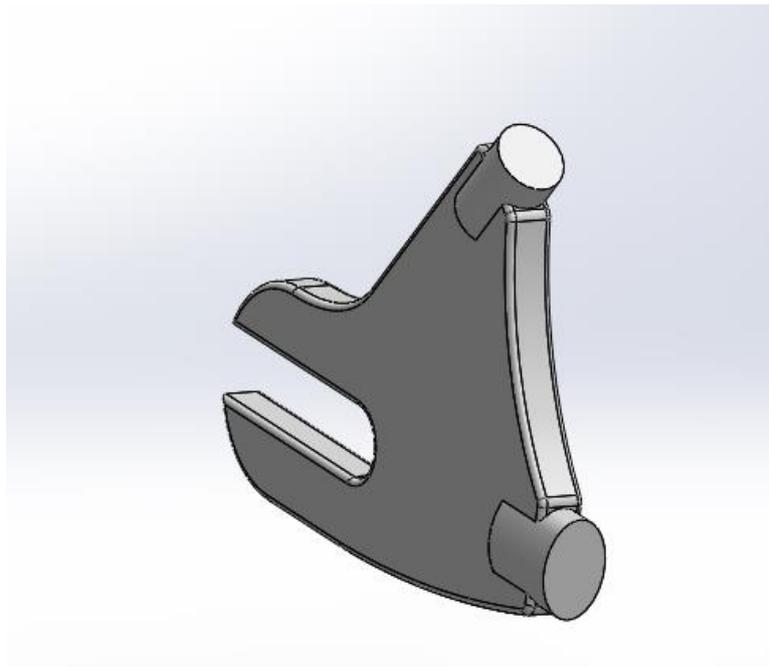


Figura 35. Patilla de cambio con los cabezales de vaina extruidos

Una vez tenemos los puntos de anclaje podemos hacer las vainas empezando por la vaina inferior. Para poder comenzar nos hace falta un plano perpendicular al alzado y paralelo a la línea donde va a estar colocada la vaina y luego mediante una función de base barrido hacemos la vaina inferior con un grosor de 2 mm:

III. Desarrollo proyecto

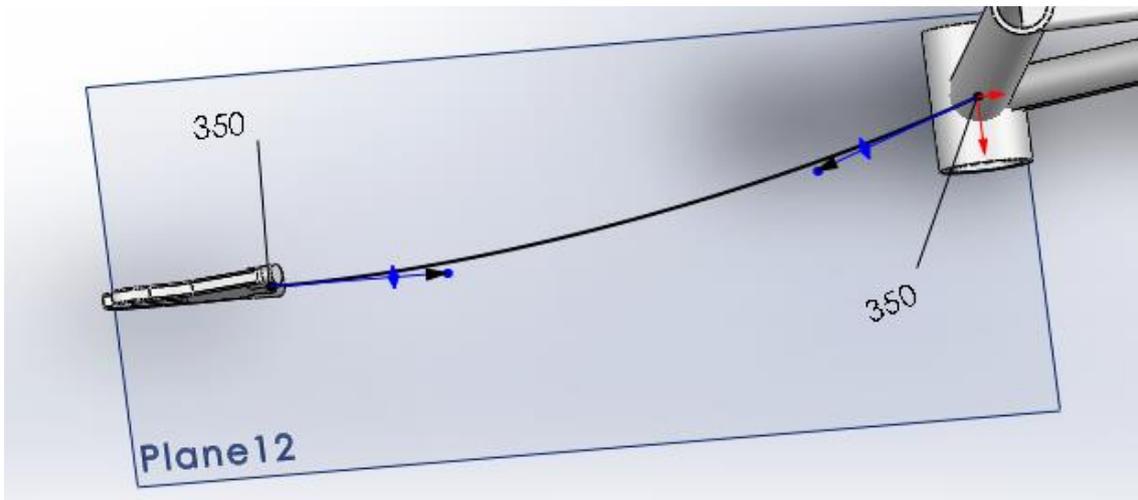


Figura 36. Geometría de la vaina inferior

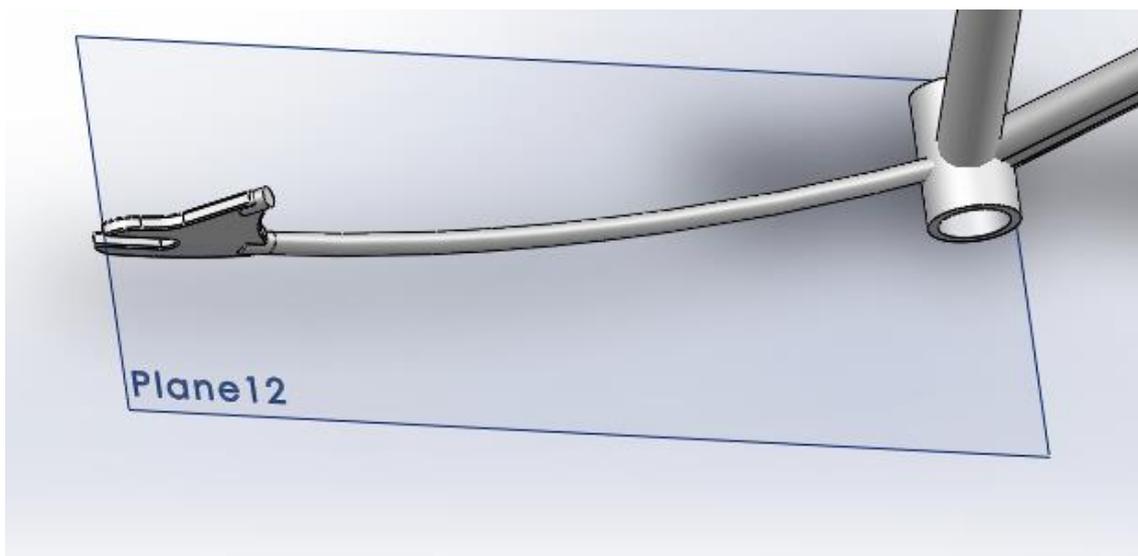


Figura 37. Vaina inferior extruida

Lo mismo vamos a hacer para la vaina superior, un plano perpendicular al alzado y paralelo a la línea de la vaina superior que va desde el hub central hasta el anclaje superior y que tiene un grosor de 2 mm:

III. Desarrollo proyecto

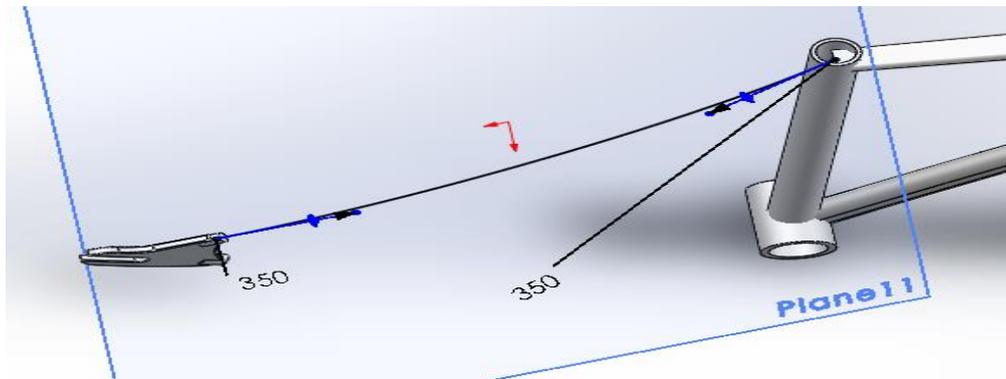


Figura 38. Geometría vaina superior

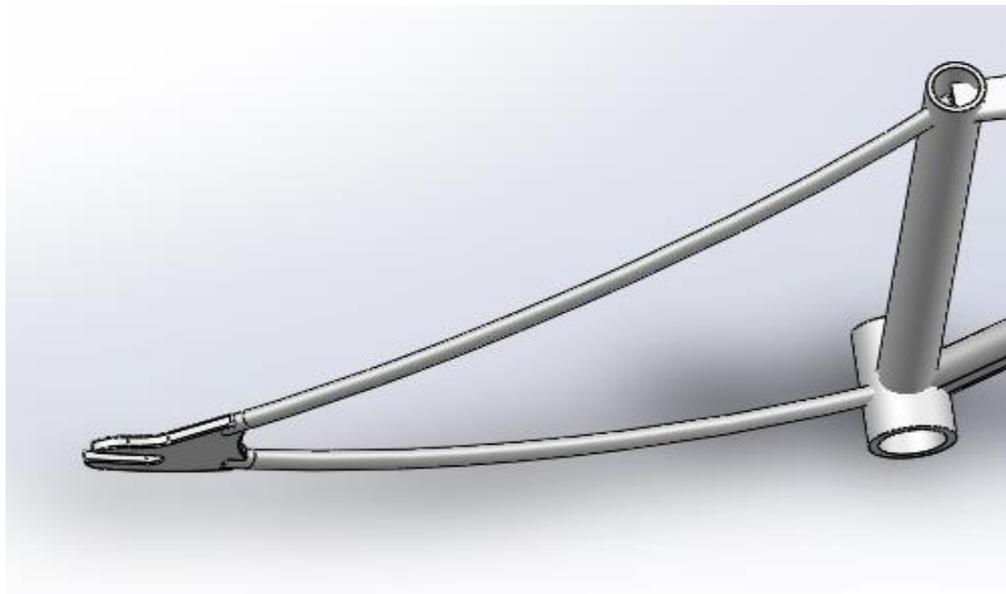


Figura 39. Vaina superior extruida

El siguiente paso es eliminar el material sobrante que nos sale dentro de la caja pedalier, el tubo de asiento y el telescopio haciendo la función de extruir corte:

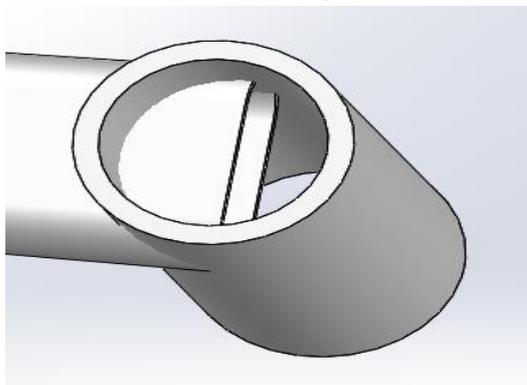


Figura 40. Telescopio con material sobrante

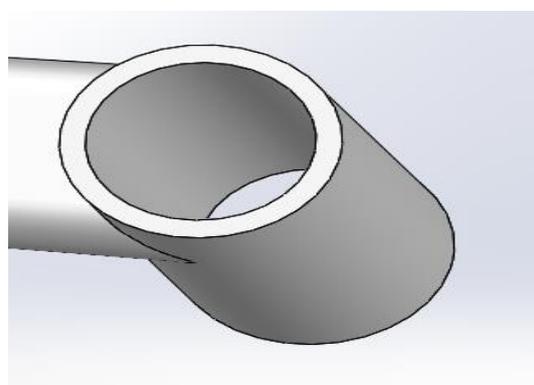


Figura 41. Telescopio después de la extrusión

III. Desarrollo proyecto

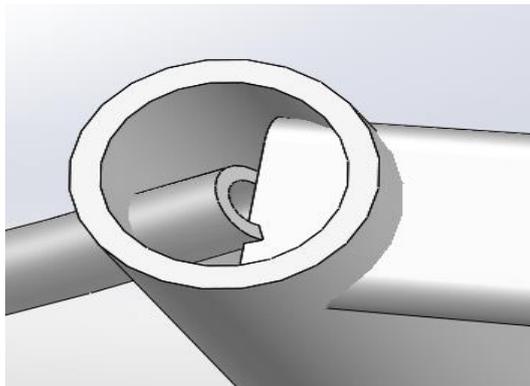


Figura 42. Tubo asiento con material sobrante

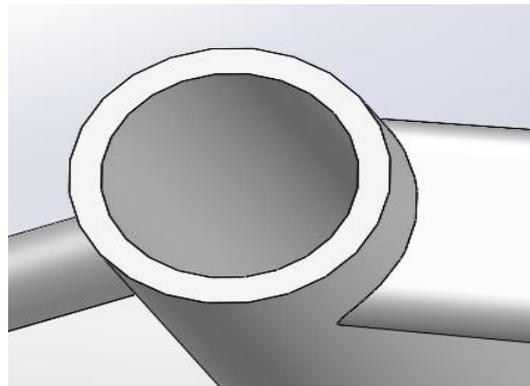


Figura 43. Tubo asiento después de la extrusión

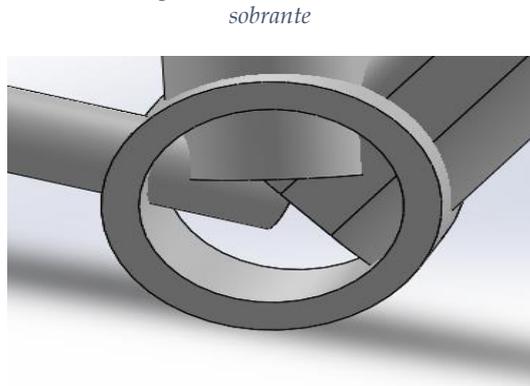


Figura 44. Caja pedalier con material sobrante

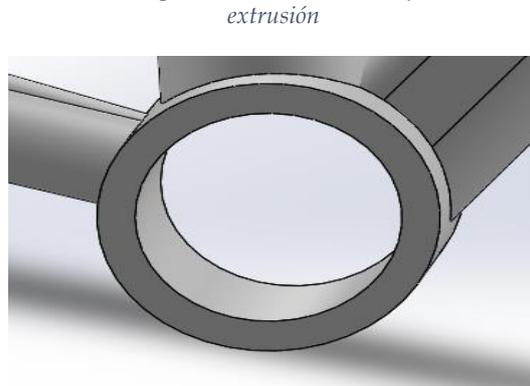


Figura 45. Caja pedalier después de la extrusión

III. Desarrollo proyecto

Una vez hemos eliminado el exceso de elementos, procedemos a hacer la parte izquierda de las vainas con la patilla de cambio. Para realizar estas partes emplearemos una simple función de espejo usando como eje medio el plano de alzado.

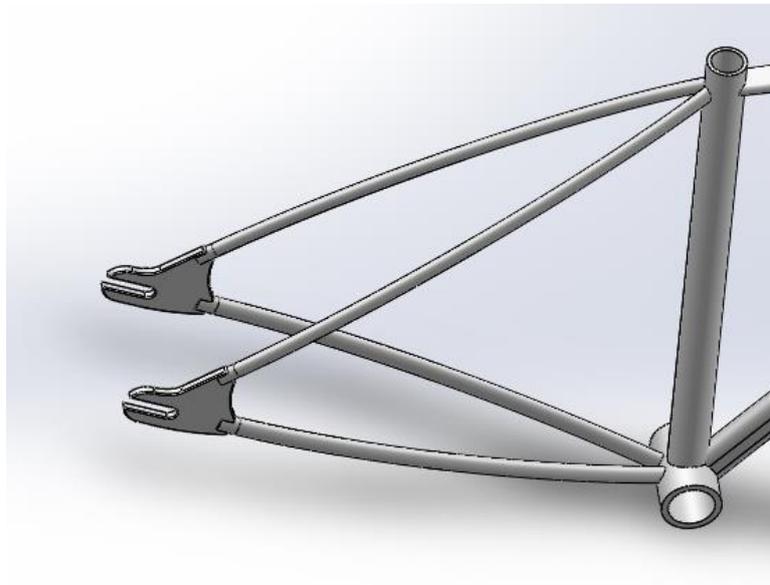


Figura 46. Vaina izquierda construida con la función espejo

Y para acabar este modelo vamos a soldar todos los tubos. Vamos a dar 3 tamaños distintos de cordones: 0.5 mm, 1 mm y 1.5 mm. Los cordones de 0.5 estarán todos en la unión de los apoyos para las vainas con la patilla de cambio mientras que los cordones de 1 mm estarán en las uniones de las vainas con el tubo del asiento y en la triple unión del tubo superior, tubo inferior y el telescopio y por lo último, los cordones de 1.5 mm están en la unión entre el tubo del asiento, el tubo inferior y la caja pedalier.

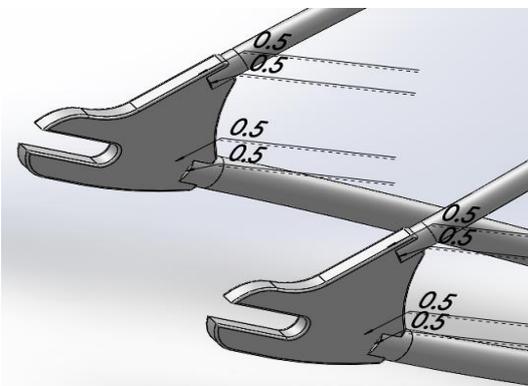


Figura 47. Cordones de soldaduras entre vainas y patillas de cambio

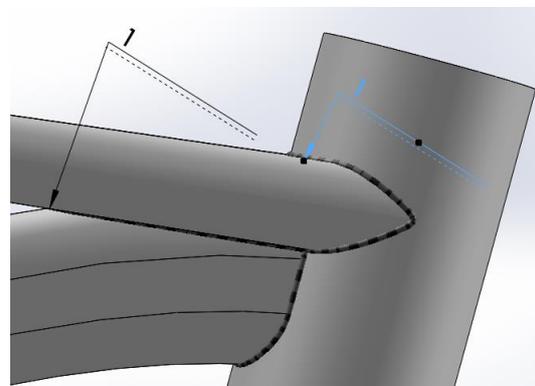


Figura 48. Cordones de soldadura entre telescopio, tubo superior y tubo inferior.

III. Desarrollo proyecto

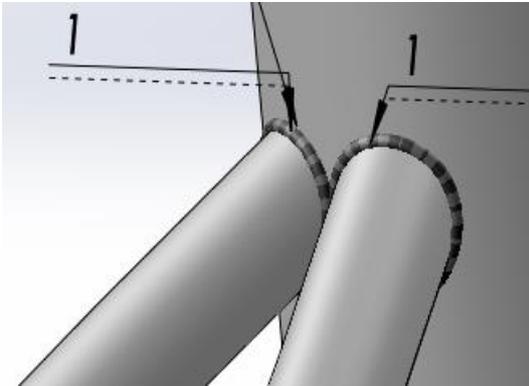


Figura 49. Cordón de soldadura entre vainas superiores y tubo asiento

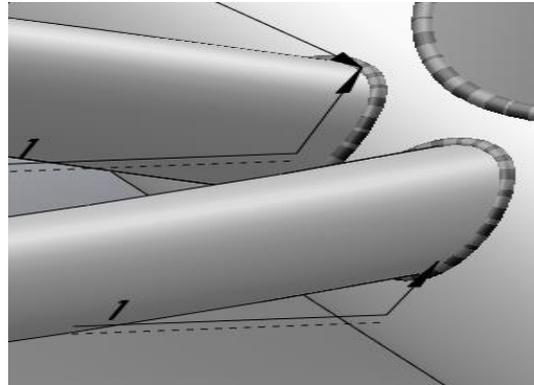


Figura 50. Cordón de soldadura entre vainas inferiores y tubo inferior con la caja pedalier

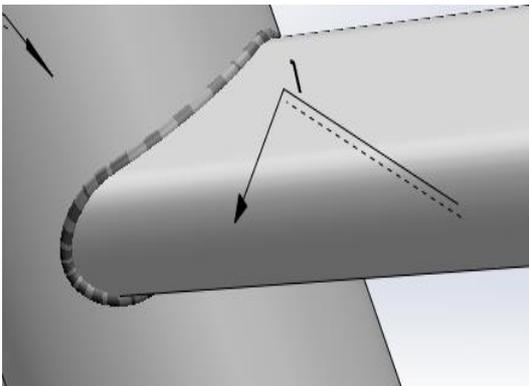


Figura 51. Cordón de soldadura entre tubo asiento y tubo inferior

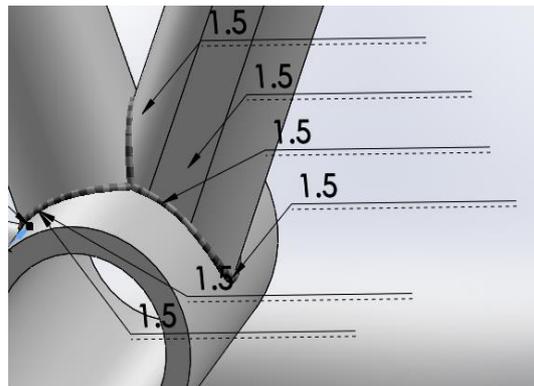


Figura 52. Cordón de soldadura de la Caja pedalier con el tubo asiento y el tubo inferior

III. Desarrollo proyecto

III.2. NORMATIVA APLICABLE.

La normativa que manda las características de una bicicleta se encuentra recompilados en la norma ISO 4210-6:2014.

La norma ISO 4210 consiste en las siguientes 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 rueda 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 este estudio solo se usará la parte 6: Métodos de ensayo del cuadro y la horquilla.

III. Desarrollo proyecto

III.3. ESTUDIO Y DEFINICIÓN DE ESTADOS TENSIONALES.

Conforme con la norma ISO 4210, se procede a establecer los principales ensayos que dictaran los resultados de este trabajo. Estos ensayos se implementarán usando el software SolidWorks.

SolidWorks es un programa de modelación 3d y simulación que además trabaja usando el método de cálculo por elementos finitos (MEF) hecho que lo hace perfecto para este trabajo.

III.3.1 Primer ensayo. Simulación peso ciclista

Este ensayo trata de simular los esfuerzos que sufre un cuadro de bicicleta al tener sentado una persona de alto peso (100kg) encima.

III.3.2 Segundo ensayo. Fatiga por fuerzas horizontales

En el segundo ensayo, conforme la norma ISO 4210, se simularán los esfuerzos que se producen al aplicar una fuerza sobre una horquilla falsa.

Instalamos el cuadro en su posición normal, fijando el eje trasero. Se aplican ciclos de fuerzas dinámicas en la dirección horizontal, hacia delante y hacia detrás en la puntera de la horquilla delantera durante un numero de ciclos como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2. Segundo ensayo. Fuerzas y ciclos en las punteras de la horquilla delantera

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

III. Desarrollo proyecto

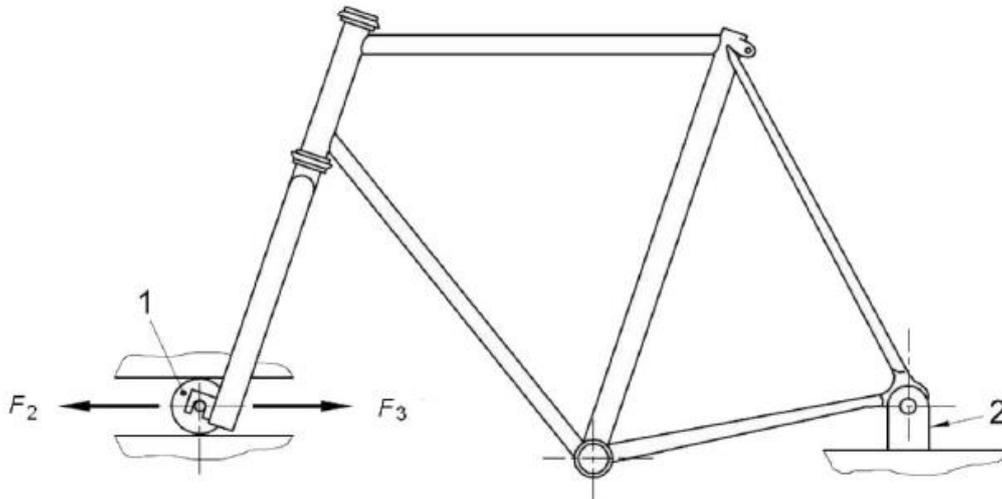


Figura 53. Segundo ensayo de fatiga por fuerzas horizontales

Donde:

- 1, Rodillo guiado que puede girar libremente
- 2, Montura pivotante rígida para el punto de fijación del eje trasero
- F_2 es fuerza hacia adelante
- F_3 es fuerza hacia detrás
- C1 es el número de ciclos

Para este análisis se tomará la F_2 de 1200 N, la F_3 de 600 N durante 50000 ciclos ya que se trata de una bicicleta de montaña

III.3.3 Tercer ensayo. Fatiga por fuerzas de pedaleo

En el tercer ensayo, conforme con la norma ISO 4210, se simularán esfuerzos sobre cada eje del pedal. Los esfuerzos estarán aplicados a 150 mm del eje del cuadro y con una inclinación de 7.5° con respecto al plano longitudinal, además el pedal se debe ubicar a 45° con respecto a la horizontal. Para la realización de este ensayo es necesario bloquear los ejes de las dos ruedas.

III. Desarrollo proyecto

Tabla 3. Ensayo 3. Fuerzas en el eje del pedal

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

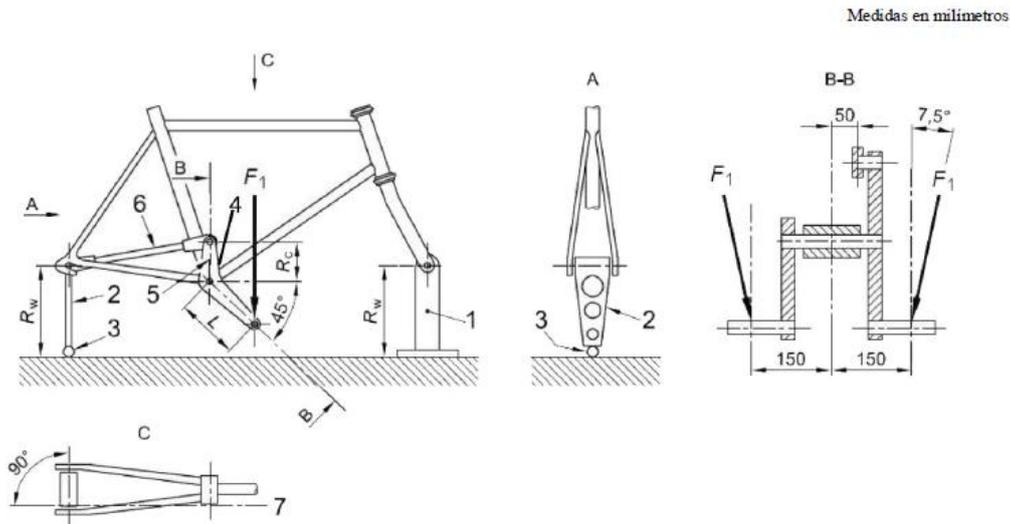


Figura 54. Ensayo 3 de fatiga con fuerzas de pedaleo.

Donde:

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

Para este análisis se tomará la fuerza F_1 de 1200 N ya que se trata de una bicicleta de montaña.

III. Desarrollo proyecto

III.4. SELECCIÓN DE MATERIALES.

Para la selección de materiales se usarán los materiales más comunes usados en la industria hoy en día: acero, aluminio, titanio y la fibra de carbono.

III.4.1 Acero

El acero ha sido el material por excelencia para la construcción de los cuadros de bicicletas durante la mayoría del siglo 20 ya que era el material más común de construcción en todos los ámbitos manufacturo, pero hoy en día ya no se usa tanto debido a que ha surgido una nueva ola de materiales con mejores prestaciones, más ligeros que pueden aguantar los mismos esfuerzos. Durante la época de gloria de este material una empresa siempre ha estado por encima de otras y esta era Reynolds. Reynolds llegó a ser sinónimo con los cuadros de bicicletas de competición ya que 27 ganadores de la prestigiosa carrera Tour de France tenían bicicletas con tubos hechos por Reynolds. Dado que la empresa tiene más de 100 años de actividad, tiene una gran selección de productos como:

- Reynolds 531
- Reynolds 631
- Reynolds 653
- Reynolds 731
- Reynolds 753
- Reynolds 853
- Reynolds 953

Para este análisis se usará el Reynolds 525, también conocido como AISI 4130, que es una aleación de acero con Cromo y Molibdeno (CrMo). Se ha elegido este material debido a que es el más común en las bicicletas de hoy en día debido a su bajo coste y buenas propiedades mecánicas. Como se ha observado también en el estudio de mercado, la bicicleta hecha con acero tiene un coste muy bajo comparado con los demás materiales debido a las propiedades del acero y al coste muy bajo de producción. También es de notar que hoy en día las bicicletas con cuadro de acero casi que no se fabrican mas, aunque en los últimos años han empezado a aparecer bicicletas de competición fabricadas con acero debido a nuevas aleaciones.

III. Desarrollo proyecto

A continuación, se mostrara una tabla con los propiedades químicos y mecánicos de esta aleación:

Tabla 4. Composición química, propiedades mecánicas y físicas del Reynolds 525

Composición química	
Elementos	Contenido (%)
Hierro, Fe	97.03 – 98.22
Cromo, Cr	0.8 – 1.10
Manganeso, Mn	0.4 – 0.6
Carbono, C	0.28 – 0.33
Silicio, Si	0.15 – 0.30
Molibdeno, Mo	0.15 – 0.25
Azufre, S	0.04
Fosforo, P	0.035

Propiedades físicas	
Densidad	7.85 g/cm ³
Punto de fusión	1432 °C

Propiedades Mecánicas	
Carga de rotura	560 MPa
Limite elástico	460 MPa
Modulo de Elasticidad	205 GPa

III. Desarrollo proyecto

Coeficiente de Poisson	0.285
Elongación a rotura (en 50 mm)	21.5%
Dureza, Brinell	217
Dureza, Rockwell B	95
Dureza, Rockwell C	17
Dureza, Vickers	228

III.4.2 Aluminio

Es el material que mas se emplea actualmente en la industria del ciclismo. Esta popularidad se debe a las propiedades mecánicas muy buenas que presenta el material y el coste muy reducido comparado con los demás materiales ya que también es uno de los metales mas abundante de la tierra. Hay varios tipos de aluminios usados en la industria ahora mismo, como por ejemplo:

- Al 6061
- Al 7075
- Al 2014

Para este estudio se utilizara el Al 6061 debido a ser el mas común usado hoy en día teniendo buenas propiedades mecánicas en relación a precio. A continuación se mostrara una tabla con las propiedades de este material:

Tabla 5. Composición química, propiedades físicas y mecánicas del Al 6061

Composición química	Contenido (%)
Aluminio, Al	95.85 – 98.61
Silicio, Si	0.40 – 0.80
Hiero, Fe	0 – 0.70

III. Desarrollo proyecto

Cobre, Cu	0.15 - 0.40
Manganeso, Mn	0 - 0.15
Magnesio, Mg	0.80 - 1.20
Cromo, Cr	0.04 - 0.35
Zinc, Zn	0 - 0.25
Titanio, Ti	0 - 0.15
Otros elementos	0.05 - 0.15
Propiedades mecánicas	
Carga a la Rotura	310 MPa
Limite elástico	270 MPa
Modulo Elasticidad	69.5 GPa
Resistencia a la cizalladura	200 MPa
Coficiente de Poisson	0.33
Dureza, Brinell	95
Dureza, Vickers	100
Propiedades físicas	
Densidad	2.70 g/cm ³
Punto de fusión	580 °C

III. Desarrollo proyecto

III.4.3 Titanio

El titanio es uno de los materiales con las mejores prestaciones que hay en el mercado. Combina su bajo peso con excelentes propiedades mecánicas hecho que lo hace ideal para cuadros de competición, aunque todas estas mejoras tienen un precio muy elevado cuando lo comparas con cuadros hechos por acero o por aluminio. A continuación, se mostrarán las propiedades del titanio: Ti-6Al-4V

Tabla 6. Composición química, propiedades mecánicas y físicas del Ti-6Al-4V

Composición química	Contenido (%)
Titanio, Ti	90
Aluminio, Al	6
Vanadio, V	4
Propiedades mecánicas	
Carga a la Rotura	950 MPa
Limite elástico	880 MPa
Modulo Elasticidad	113.8 GPa
Resistencia a la cizalladura	44 GPa
Coefficiente de Poisson	0.342
Dureza, Brinell	334
Dureza, Vickers	349
Propiedades físicas	
Densidad	4.43 g/cm ³
Punto de fusión	1600 °C

III. Desarrollo proyecto

III.3.4 Fibra de carbono

La fibra de carbono es un material sintético hecho de una fibra industrial nombrada poliacrilonitrilo (PAN). Está compuesto por filamentos de diámetro muy pequeño, normalmente entre 5 - 10 μm . Cada filamento de fibra de carbono suele ser compuesta entre 1000 y 24000 filamentos hecho que le confiere propiedades mecánicas parecidas al acero, teniendo incluso más resistencia al impacto, pero siendo mucho más ligero.

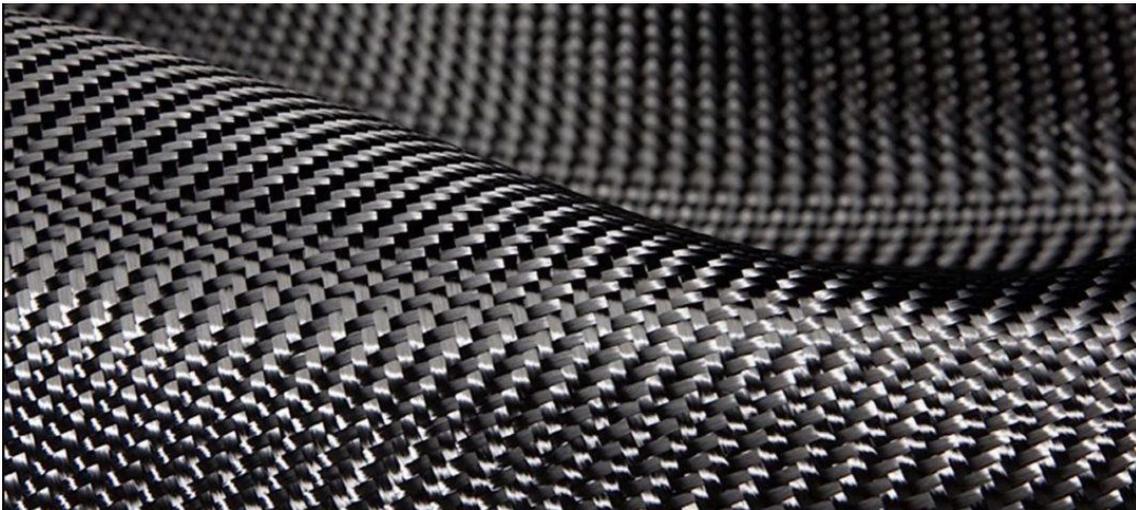


Figura 55. Fibra de carbono

(<https://noticias.coches.com/noticias-motor/fibra-de-carbono-almacenar-energia/309932>)

Las propiedades de las piezas fabricadas con fibra de carbono dependen de como se dispongan los hilos en el proceso de fabricación, se puede obtener fibra unidireccional o fibra entrecruzada ya que esto cambiara la respuesta a torsión de cualquier componente. Otro factor importante de la fibra es su modulo, así se puede clasificar como:

- **Bajo Modulo de elasticidad**
- **Modulo intermedio**
- **Alto módulo de elasticidad**
- **Ultra alto módulo de elasticidad**

Actualmente en la industria se usa principalmente fibras de alta resistencia (HR) y fibras de alto modulo elástico (HM). Las fibras de alta resistencia destacan por su gran resistencia a rotura mientras que las fibras de alto modulo elástico se caracteriza por su alta elasticidad.

III. Desarrollo proyecto

En este ensayo se escogerá una fibra de carbono de alto modulo (HM) y se aplicará de manera unidireccional. Para fabricar el material composite se usará resina epoxi. Hasta ahora solo se han mencionado materiales con propiedades isotrópicas, la fuerza de rotura, el límite elástico, etc... que son iguales para todos los sentidos de aplicación de la fuerza, en el caso de la fibra de carbono es distinto, esta es un material ortotropico lo que significa que el sentido de aplicación del esfuerzo sobre el material influye en las propiedades. Para averiguar las propiedades del nuevo polímero se empleará el método de Chamis para calcular las propiedades del polímero. Se parte desde las propiedades de la fibra y de la resina epoxi para conseguir las propiedades del material compuesto.

Tabla 7. Propiedades de la FC de alto modulo

Propiedades fibra de carbono HM	
Densidad	1544 Kg/ m3
Tensión en dirección de la fibra (E1)	379 GPa
Tensión transversal a la fibra (E2)	62 GPa
Modulo de Poisson (v12)	0.2
Modulo de Poisson (v23)	0.25
Tensión cortante (G12)	75.842 GPa
Tensión cortante (G23)	48.263 GPa
F. Tensión (Xft)	2.5 GPa
F. Tensión (Xfc)	1.5 GPa

III. Desarrollo proyecto

Tabla 8. Propiedades de la resina epoxi

Propiedades de la resina epoxi	
Densidad	1180 Kg/m ³
Tensión	3.5 GPa
Modulo de Poisson	0.35
Tensión cortante (Gm)	1.2963 GPa
F. de Tensión (SmT)	55 MPa
F. de compresión (SmC)	103 MPa
F. de cizalladura (SmS)	55 MPa
Volumen de resina (Vc)	0.3

Tabla 9. Propiedades de la lamina resultante

Propiedades lamina		
Tensión en X	E_x	266498.4MPa
Tensión en Y	E_y	16624.7 MPa
Tensión en Z	E_z	16624.7 MPa
Poisson	ν_{12} y ν_{13}	0.245
Poisson	ν_{23}	0.1915
Tensión de cizalladura	G_{12} y G_{13}	7297.3 MPa
Tensión de cizalladura	G_{23}	6976.4 MPa
Densidad	Densidad	1544 Kg/m ³

III. Desarrollo proyecto

F. Tensión (Xt)	Tensile Strength X	17500 MPa
F. Tensión (Yt)	Tensile Strength Y	47.9 MPa
F. Compresión (Xc)	Compressive Str X	1050 MPa
F. Compresión (Yc)	Compressive Str Y	89.7 MPa
Fuerza cortante (SC)	Shear Strenght XY	47.6 MPa
Limite elástico	Yield Strenght	1575 MPa

III. Desarrollo proyecto

III.5. FABRICACIÓN.

Como se ha mencionado en los apartados anteriores, según el material que se usara, hay 2 métodos generales de fabricación del cuadro. El primer método se usa con materiales metálicos y consta generalmente de hacer varias uniones de tuberías mediante soldaduras. Aunque esto está cambiando poco a poco gracias al uso de herramientas CAD y nuevos tipos de materiales que permiten hacer distintos procesos innovadores. Las fases de la producción son las siguientes:

1. Se fabrican los tubos, partiendo de un solo bloque, también se podrían coger chapas y doblarlas para que tenga la forma de una tubería y después soldar los 2 lados pero este proceso resulta en una tubería con peores propiedades mecánicas.
2. Una vez que se ha conseguido la tubería se procede a mejorar sus propiedades a través de distintos procesos. Uno de los procesos más comunes que se emplea es el butting y consta de aumentar el grosor de las paredes de las tuberías en los extremos donde los esfuerzos son mayores y disminuyendo el grosor hacia el centro así manteniendo alta resistencia y reduciendo el peso de cada barra.

III. Desarrollo proyecto

3. Una vez los tubos están preparados se ensambla las distintas partes. Para asegurarse que todos los tubos están colocados de manera precisa para cumplir con el diseño se usa una plantilla de soldadura.

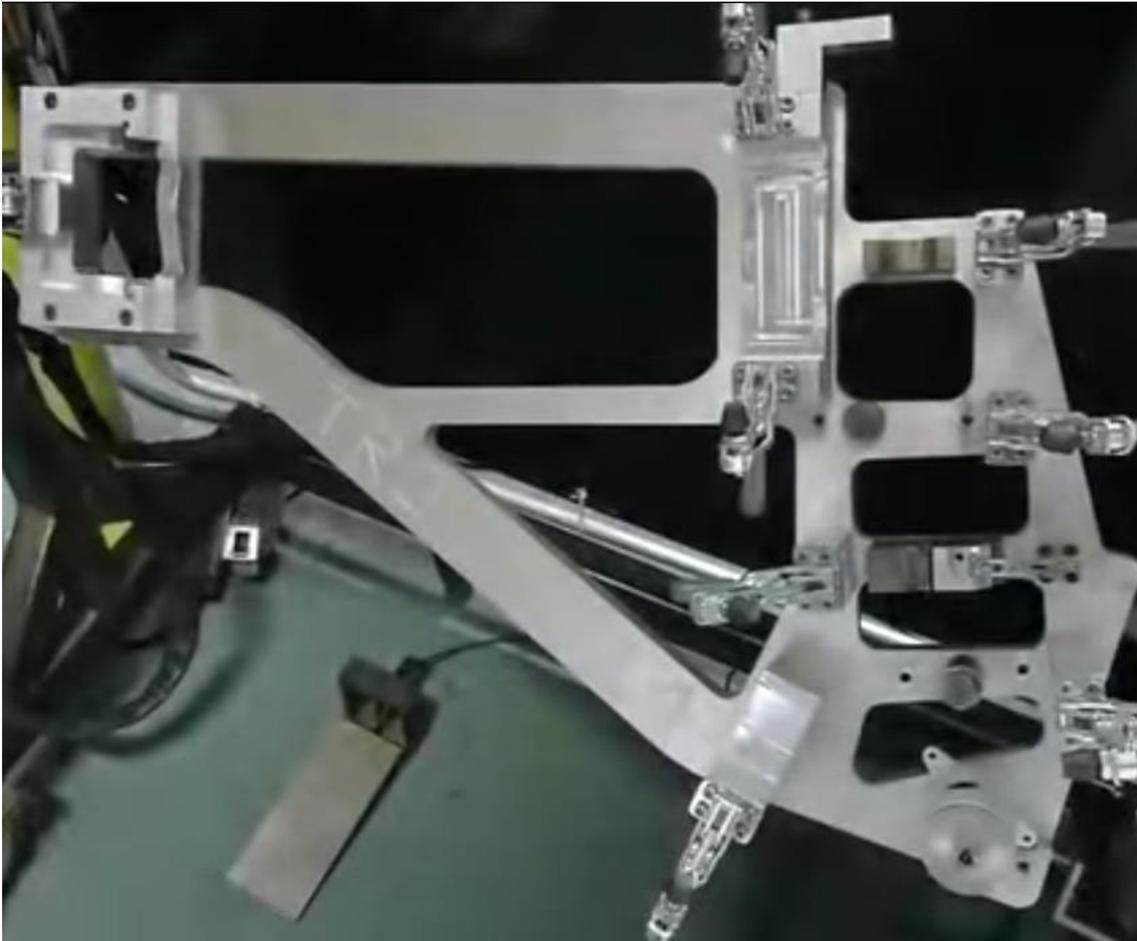


Figura 16. Plantilla de soldadura.

(Captura de pantalla proporcionada por "How is Made")
<https://www.youtube.com/channel/UCELt4nocnWDEnYJmov4zqyA>

4. Después de colocados en la posición debida se procede a soldar las distintas tuberías, como se ha estipulado en los apartados anteriores, la soldadura empleada para este tipo de proceso es el TIG (*Tungsten Inert Gas* o soldadura mediante electrodo de tungsteno con gas inerte)
5. Debido a las elevadas temperaturas a que esta supuesto el cuadro durante la soldadura, muchas de sus partes pierden sus propiedades mecánicas. Para remediar este problema el cuadro está sometido a unos tratamientos térmicos para restablecer las propiedades adecuados.

III. Desarrollo proyecto

6. Después de los tratamientos térmicos se deja enfriar los cuadros y se procede a añadir la pintura y después los demás componentes: los pedales, el manillar, la suspensión, las ruedas, etc...

El segundo método trata de la fabricación de cuadros de bicicletas de montaña hechos con fibra de carbono. Este proceso es mucho más complejo que el anterior ya que consiste en un trabajo muy laborioso, hecho que le sube el coste de fabricación exponencialmente. Las fases de este proceso son las siguientes:

1. Primero se consigue el material. Para la realización de estos tipos de cuadros se usa rollos de fibra **prepreg** (preimpregnados) que consisten de la fibra de carbono impregnados de resina epoxi no currada.



Figura 17. Rollo de fibra de carbono Prepreg

<https://zoltek.com/products/px35/prepreg/>

2. Se cogen los rollos de fibra de prepreg y se corta usando distintas formas para todas las distintas partes que forman el cuadro. Un cuadro puede llegar a tener entre 100 y 400 piezas individuales.
3. Se empieza a hacer ensamblajes de subconjuntos. Se cogen los distintos recortes de fibra y se pone sobre un modelo del subconjunto del cuadro. Los

III. Desarrollo proyecto

subconjuntos suelen ser los triángulos del cuadro individuales o partes donde van a haber unión de varias componentes.

4. después se colocan los subconjuntos en autoclaves donde a través de una combinación de altas temperaturas y presiones se consigue el currado las piezas.



Figura 18. Horno autoclave.

<https://www.cgprosports.com/thehandheldmetaldetector/steeringwheel.html>

5. Una vez currada la resina se sacan los modelos que llevaban dentro.
6. Se prepara la superficie para varios procesos de lijados para dejar una superficie nítida y sin imperfecciones debido al currado de la resina.

III. Desarrollo proyecto



Figura 19. Ejemplo de cuadro tras el proceso de lijado.

<https://road.cc/content/blog/157728-diy-bike-painting>

7. Se unen todos los distintos subconjuntos usando un adhesivo a base de carbono para tener el cuadro completo.
8. Para finalizar se procede a pintar el cuadro y a añadir los demás componentes que forma la bicicleta.

III. Desarrollo proyecto

III. Desarrollo proyecto

III.6. ESTUDIO Y DEFINICIÓN DE CONDICIONES DE CONTORNO.

El cuadro de un ciclo esta formado por una unión de tubos, para todos los tipos de materiales que vamos a usar en este documento, menos la fibra de carbono, esta unión se realizara mediante soldaduras. El cuadro de fibra de carbono se fabrica usando franjas de fibra que se moldean directamente sobre varios moldes adquiriendo la forma deseada, después de varios tratamientos, las distintas piezas se atornillan o se une mediante presión así formando el cuadro entero.

En cuanto a los cuadros que se soldaran, se usara un procedimiento de soldadura llamado TIG (*Tungsten Inert Gas*). Este procedimiento se caracteriza por el uso de un solo electrodo de tungsteno (wolframio) que se calienta a temperaturas muy elevadas, dada la alta temperatura de fundición del tungsteno (3410 °C), y acompañado por una protección de gas, más empleado siendo el argón.

III. Desarrollo proyecto

III.7. SIMULACIÓN MEDIANTE FEM.

Después de haber establecido todas las condiciones necesarias se procede a la realización de la simulación. SolidWorks ofrece muchos tipos de simulaciones, en este trabajo se hará un estudio estático del cuadro.

III.7.1. Modelo FEM proyecto.

III.7.1.1. Aplicación de estados tensionales.

En concordancia con la normativa ISO 4210-6 :2014, se harán tres pruebas estáticas acompañadas por ensayos de fatiga.

- Simulación del peso del ciclista
- Ensayo de fatiga sobre la rueda frontal de la bicicleta
- Ensayo de fatiga sobre los pedales

III.7.1.1.1. Primer ensayo

La primera prueba constara de simular el peso de una persona sobre el cuadro. Para realizar este estudio hace falta primero anclar los ejes donde estarán colocadas las ruedas (solo eje trasero ya que en este trabajo no se simula la horquilla) con la función “fijación de rodamiento” (figura 20) después se fijará la parte interior del telescopio simulando la fijación de la horquilla. (figura 21).

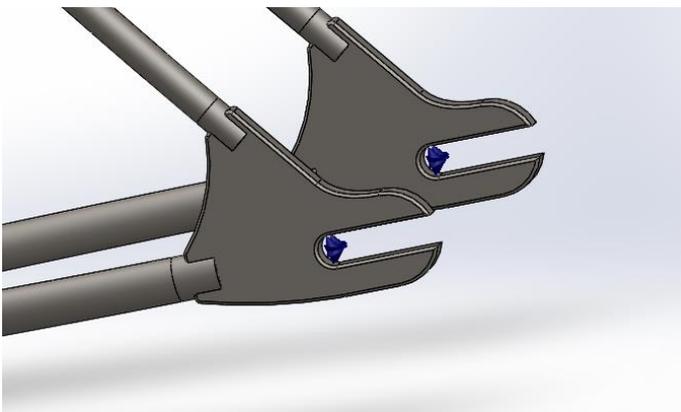


Figura 21. Anclaje de rodamientos ensayo 1

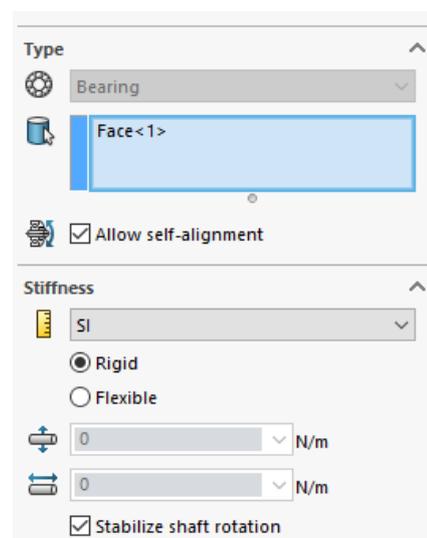


Figura 20. Anclaje rodamiento ensayo 1

III. Desarrollo proyecto

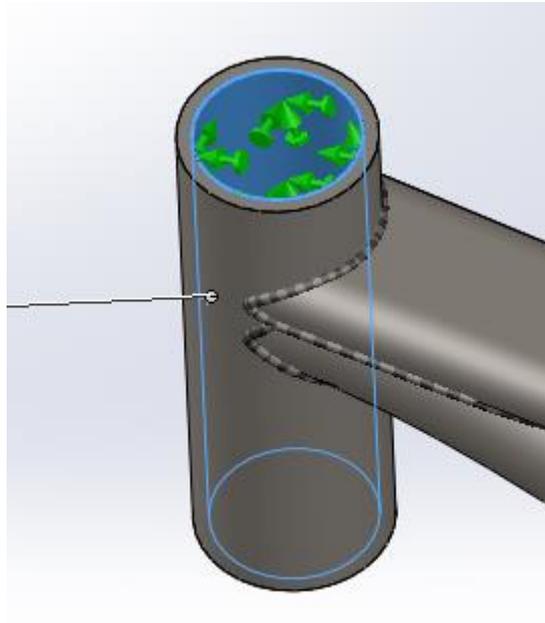


Figura 22. Fijación telescopio ensayo 1

Una vez se han colocado las restricciones se procede a añadir los esfuerzos causados por el peso de una persona de peso alto (100kg) distribuyéndose 30% para el manillar y 70% para el tubo de asiento y los pedales que a su vez se distribuirá 70-30 entre estos dos:

Tabla 10. Distribución de fuerzas ensayo 1

<i>Punto de aplicación del peso</i>	<i>Fuerza (kgf)</i>
<i>Manillar</i>	15 (x2)
<i>Tubo del asiento</i>	49
<i>Caja pedalier</i>	21

III. Desarrollo proyecto

Debido a que no tenemos una horquilla se usara dos funciones de “carga a distancia” para simular los esfuerzos que ejercen los brazos sobre el manillar de la bici. Para usar esta función es necesario un sistema de coordenadas que tiene como punto de principio el centro superior del cilindro.

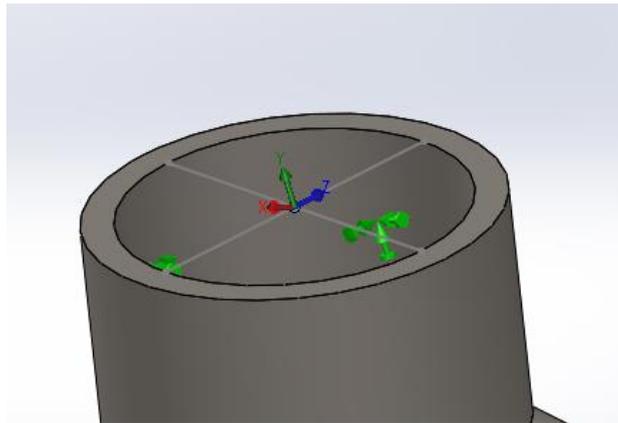


Figura 23. Centro sistema coordenadas local ensayo 1

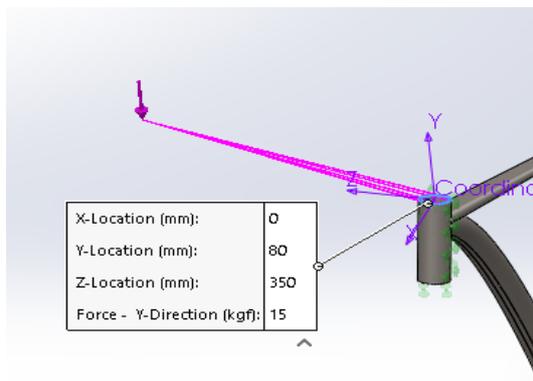


Figura 25. Posición fuerza manillar ensayo 1

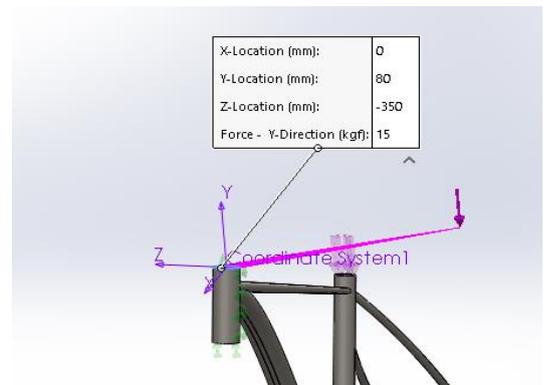


Figura 24. Posición fuerza manillar ensayo 1

Para aplicar el peso sobre el tubo de asiento se usará una función de “fuerza” y se aplicará sobre el borde superior del tubo y tendrá el sentido perpendicular al plano de planta.

III. Desarrollo proyecto

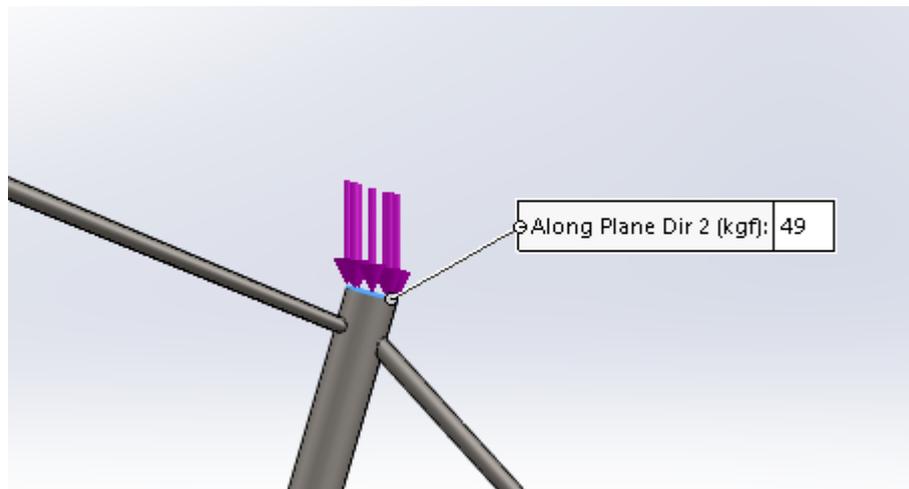


Figura 26. Fuerza sobre asiento ensayo 1

Para aplicar el peso de las piernas sobre la caja pedalier se implementará una función "Carga de rodamiento". Para la aplicación de esta se usará un sistema de coordenadas situado en el centro de la caja pedalier con los ejes x, y y z iguales que el sistema de coordenadas general.

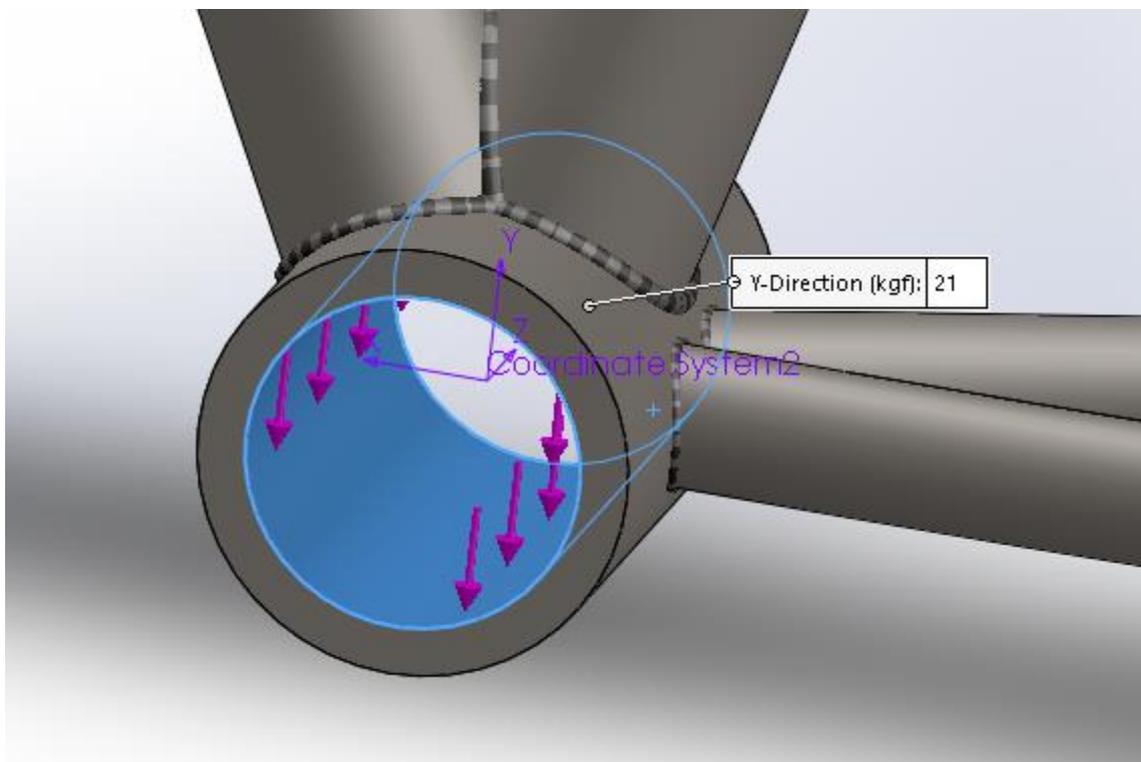


Figura 27. Fuerza sobre caja pedalier ensayo 1

III. Desarrollo proyecto

III.7.1.1.2. Segundo ensayo

El segundo ensayo trata de simular los esfuerzos que sufre la horquilla y la parte delantera del cuadro conforme la normativa ISO 4210. Estas fuerzas se aplican sobre la rueda delantera debido a que esta entra en contacto con varios objetos como agujeros en la carretera, bordillos y en el caso presente piedras, raíces de árboles, rocas, etc....

Para ejecutar este ensayo será necesario simular dos fuerzas sobre el conjunto horquilla parte delantera que empuja y estira la horquilla.

Tabla 11. Distribución de fuerza ensayo 2

Fuerza hacia delante (+X)	1200 N
Fuerza hacia atrás (-X)	600 N
Numero de ciclos que se repite el ensayo	50000

Para este ensayo es necesario anclar el eje trasero de la bicicleta con una función “soporte de rodamiento”.

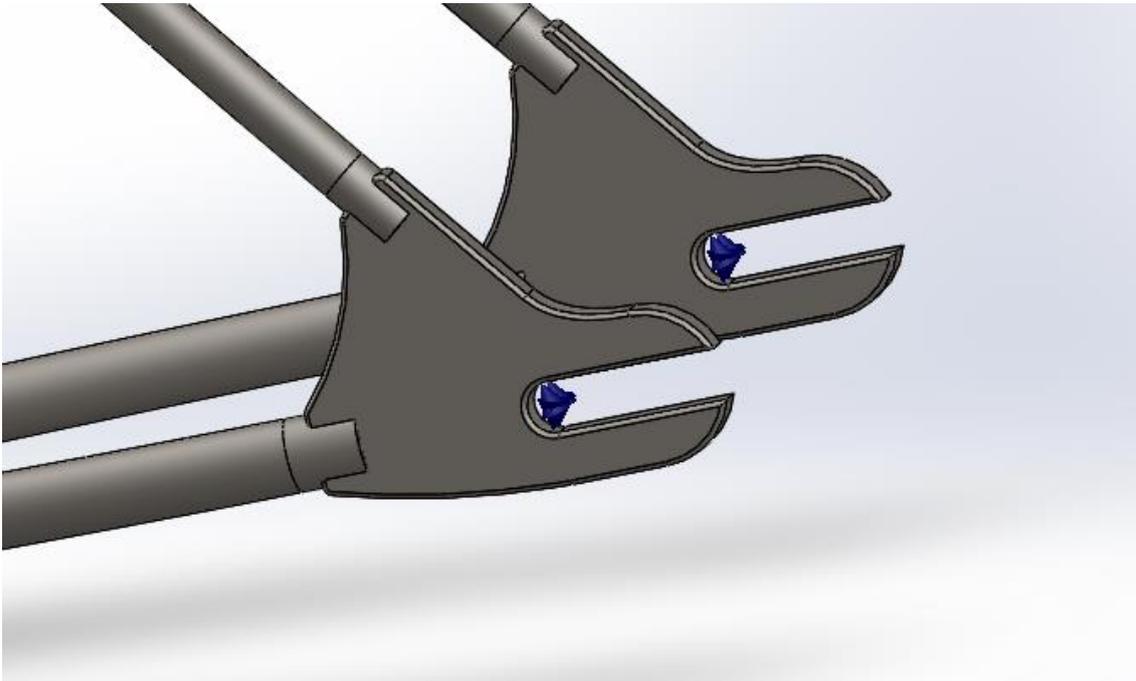


Figura 28. Anclaje de rodamientos ensayo 2

Para simular estas fuerzas en SolidWorks sin utilizar una horquilla, empleamos una función de “cargas a distancia”. Es necesario usar un nuevo sistema de coordenadas

III. Desarrollo proyecto

que tiene como origen el centro del telescopio y tiene los mismos ejes de dirección que el sistema de coordenadas general. El punto de aplicación de la fuerza se encuentra a 130 mm en el eje X, a -460 mm en el eje Y, a 0mm en el eje Z.

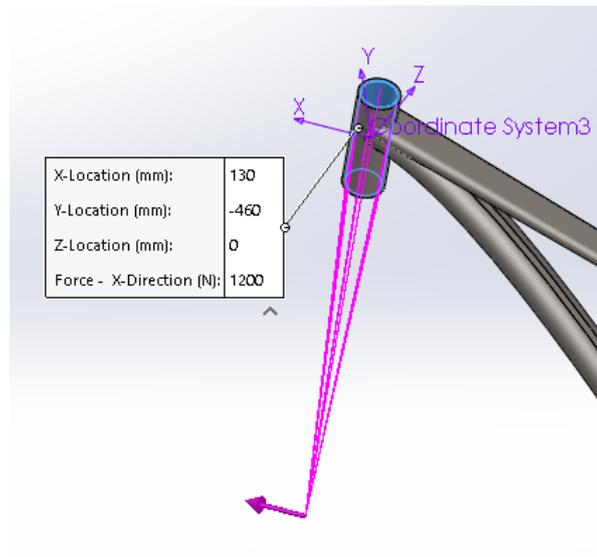


Figura 29. Ubicación de la carga a distancia ensayo 2

Una vez establecido el modelo estático, se procede a con el estudio de fatiga.

III.7.1.1.3. Tercer ensayo

El tercer ensayo trata de simular los esfuerzos que sufren los pedales después de aplicar las fuerzas de pedaleo. Para realizar este ensayo empezamos con los elementos de anclaje. Se fijarán los ejes de la bicicleta, el eje trasero se fijará mediante una función “soporte de rodamiento”.

III. Desarrollo proyecto

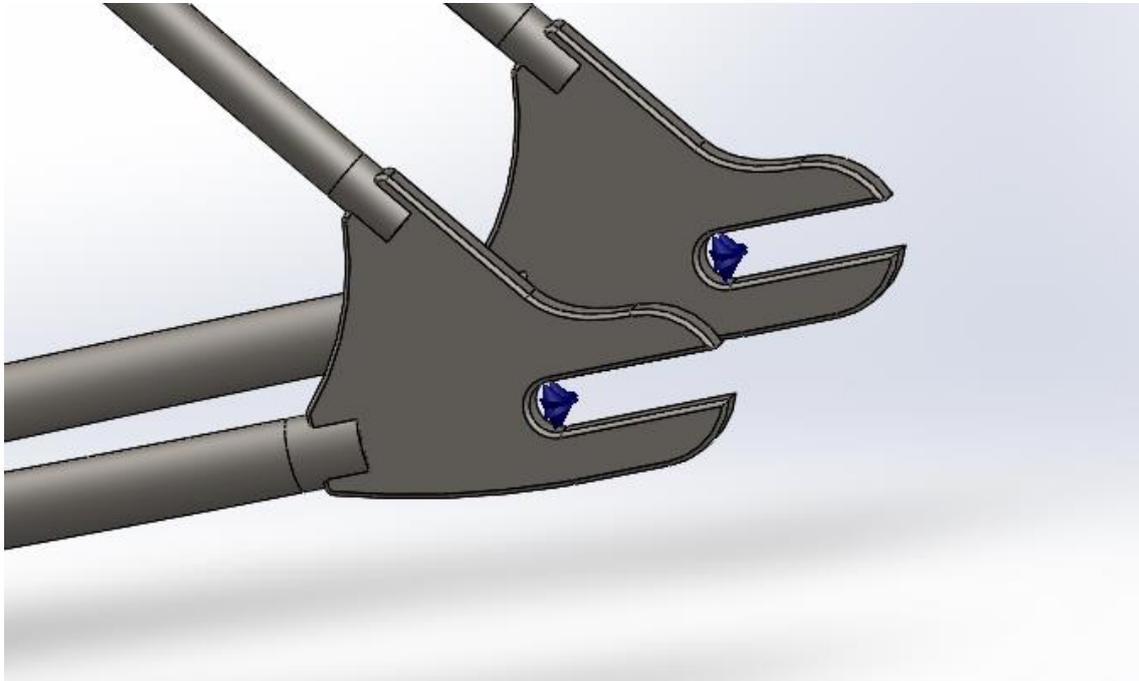


Figura 30. Anclaje de rodamiento ensayo 3

Como no tenemos horquilla para fijar el eje delantero, usaremos una función de “geometría fija” sobre la cara interior del telescopio para fijarla y prohibir el movimiento de la parte delantera.

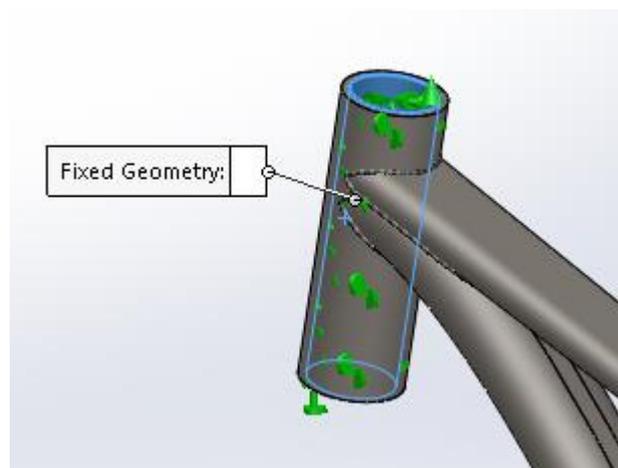


Figura 31. Anclaje geometría fija ensayo 3

III. Desarrollo proyecto

A continuación, se procede a aplicar las fuerzas que según la normativa ISO 4210, cada pedal debe estar sometido a una fuerza F_1 (Tabla 12), en este ensayo se usara una fuerza de 1200 N ya que es una bici de montaña, a una distancia de 150 mm del eje.

Tabla 12. Fuerzas sobre cada pedal ensayo 3

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

Para realizar esto se utilizará una función de “carga a distancia”. Se parte desde un sistema de coordenadas igual al sistema de coordenadas general y el punto de aplicación de la fuerza estará en las siguientes coordenadas:

Tabla 13. Coordenadas aplicación de la aplicación de fuerza ensayo 3

	X	Y	Z
Punto de aplicación de la fuerza	-106	138.83	150
			-150
			(Para el pedal opuesto)

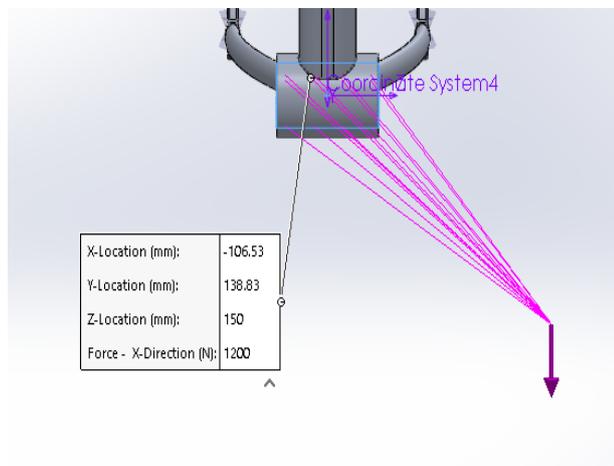


Figura 32. Coordenadas fuerza de pedaleo ensayo 3

III. Desarrollo proyecto

Para la prueba de fatiga se repetirá la aplicación de la fuerza durante 100.000 ciclos. Una vez que tenemos las condiciones de contorno aplicadas al modelo procedemos a usar la función de simulación, haciendo una simulación de fatiga de amplitud constante.

III.7.1.2. Aplicación de materiales.

La siguiente fase de la simulación es la aplicación de material sobre el modelo construido. Para realizar esto tenemos que introducir las fichas de los materiales seleccionados en SolidWorks ya que la biblioteca de SolidWorks no contiene todos los materiales necesarios.

Material properties
Materials in the default library can not be edited. You must first copy the material to a custom library to edit it.

Model Type: Linear Elastic Isotropic

Units: SI - N/mm² (MPa)

Category: Plastic

Name: Reynolds 525

Default failure criterion: Max von Mises Stress

Description:

Source:

Sustainability: AISI 4340 Steel, annealed in SOLIDW...

Property	Value	Units
Elastic Modulus	205000	N/mm ²
Poisson's Ratio	0.285	N/A
Shear Modulus	80000	N/mm ²
Mass Density	7850	kg/m ³
Tensile Strength	560	N/mm ²
Compressive Strength		N/mm ²
Yield Strength	460	N/mm ²
Thermal Expansion Coefficient	1.23e-05	/K

Figura 33. Propiedades del acero

III. Desarrollo proyecto

Material properties
Materials in the default library can not be edited. You must first copy the material to a custom library to edit it.

Model Type: Linear Elastic Isotropic
Units: SI - N/mm² (MPa)
Category: Plastic
Name: 6061-T6 (SS)
Default failure criterion: Max von Mises Stress
Description:
Source:
Sustainability: Undefined Select...

Property	Value	Units
Elastic Modulus	69500.00067	N/mm ²
Poisson's Ratio	0.33	N/A
Shear Modulus	26000.00013	N/mm ²
Mass Density	2700	kg/m ³
Tensile Strength	310.0000021	N/mm ²
Compressive Strength		N/mm ²
Yield Strength	270.0000009	N/mm ²
Thermal Expansion Coefficient	2.4e-05	/K
Thermal Conductivity	166.9	W/(m·K)

Figura 34. Propiedades del aluminio

III. Desarrollo proyecto

Material properties
Materials in the default library can not be edited. You must first copy the material to a custom library to edit it.

Model Type:

Units:

Category:

Name:

Default failure criterion:

Description:

Source:

Sustainability:

Property	Value	Units
Elastic Modulus	113800	N/mm ²
Poisson's Ratio	0.342	N/A
Shear Modulus		N/mm ²
Mass Density	4430	kg/m ³
Tensile Strength	950	N/mm ²
Compressive Strength		N/mm ²
Yield Strength	880	N/mm ²
Thermal Expansion Coefficient	8e-06	/K
Thermal Conductivity		W/(m·K)

Figura 35. Propiedades del titanio

Para la fibra de carbono se introducirán las propiedades de la tabla 9.

III. Desarrollo proyecto

III.7.2. Comparación de resultados del análisis.

En este apartado se contemplarán los resultados de los análisis de estados tensionales y los efectos que tienen estas fuerzas sobre el cuadro. Los resultados completos se podrán ver en el Anejo 1, al final del trabajo.

III.7.2.1 Ensayo 1

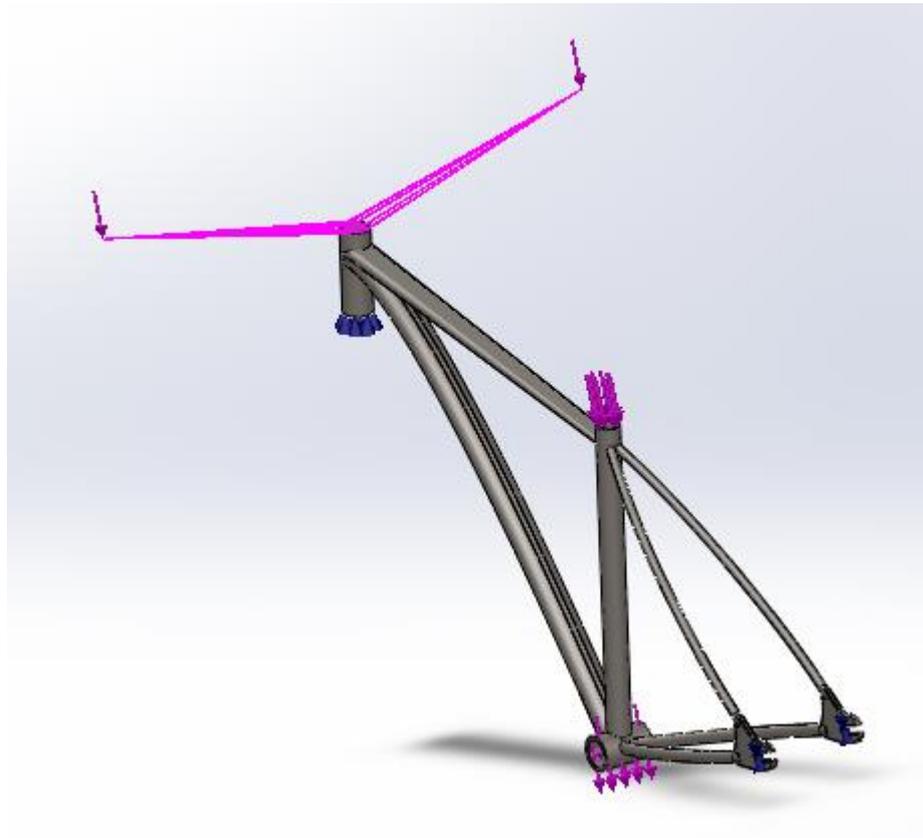


Figura 36. Ensayo 1

Tabla 14. Resultados Ensayo 1

Materiales	Acero	Aluminio	Titanio	Fibra Carbono
Ensayo 1				
Tensiones (MPa)	36.88	25.14	25.1	45.86
Deformaciones (mm)	0.1584	0.4684	0.2862	0.1926
Factor de Seguridad	18	11	35	34

III. Desarrollo proyecto

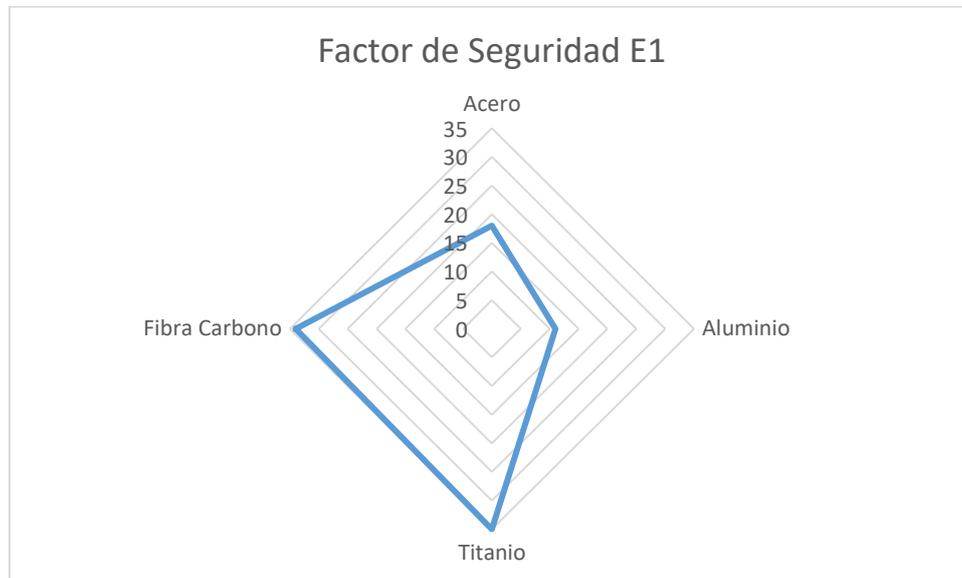


Figura 37. Factor de Seguridad resultante del Ensayo 1

Como se puede observar todos los materiales superan el primer ensayo sin problemas dado que esto solo es una prueba inicial para ver el comportamiento del cuadro.

Se han obtenida deformaciones mínimas consiguiendo unos factores de seguridad muy altos aun que se puede notar una diferencia entre el Acero y Aluminio comparados con la Fibra de carbono y el Titanio.

III. Desarrollo proyecto

III.7.2.2 Ensayo 2

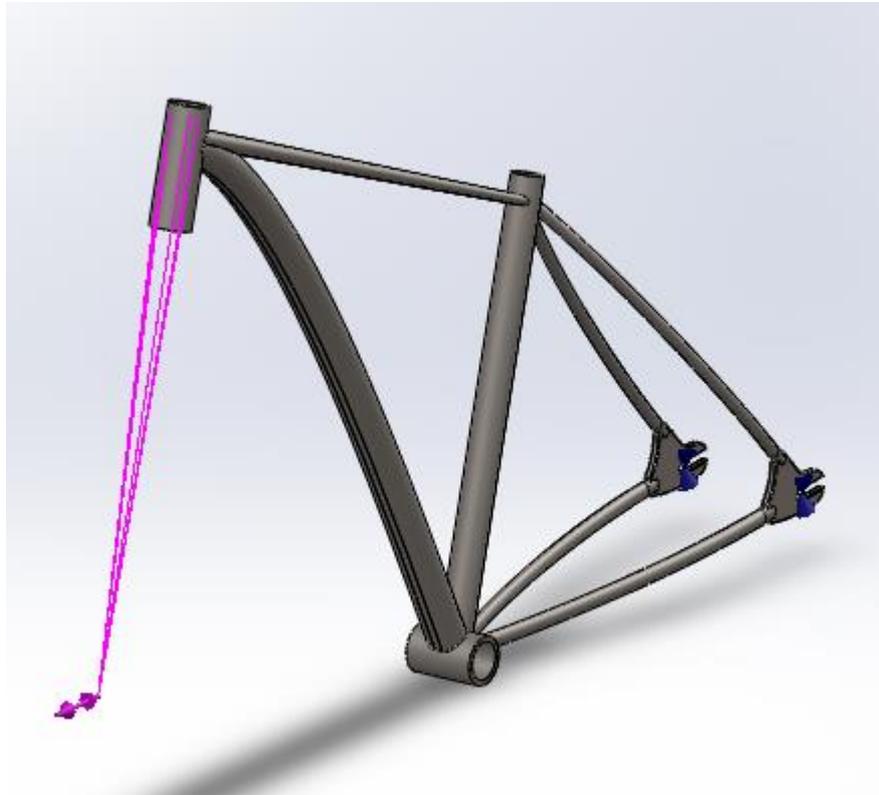


Figura 38. Ensayo 2.

Tabla 15. Resultados Ensayo 2.

Materiales	Acero	Aluminio	Titanio	Fibra Carbono
Ensayo 2				
Tensiones (MPa)	429	424.6	423.6	4556
Deformaciones (mm)	10	29.5	18	1306
Factor de Seguridad	1.1	0.64	2.1	0.16
Daño por Fatiga	5%	428%	0.50%	-
Ciclos de Vida mínimo	1000000	11680	1000000	-

III. Desarrollo proyecto

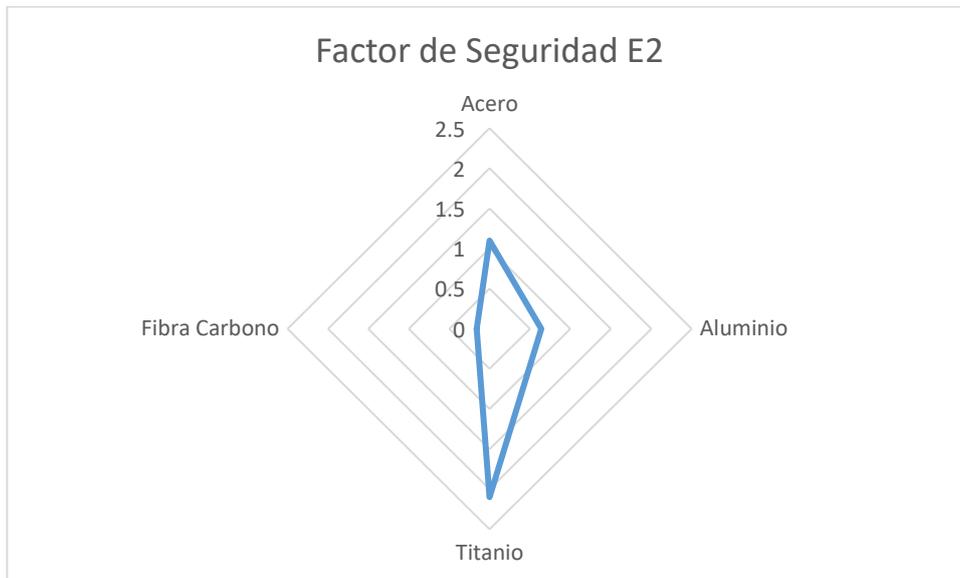


Figura 39. Factor de Seguridad resultante del Ensayo 2

Este ensayo es el mas duro de los 3 debido a las altas cargas y elevado numero de ciclos a que el cuadro está sometido. Se puede observar que esta prueba esta superada solo por el Titanio y por el Acero. El Aluminio sufre mucha deformación que hacen aparecer grietas que llevan al fallo y la Fibra de Carbono sufre directamente rupturas en las capas superiores.

III. Desarrollo proyecto

III.7.2.3 Ensayo 3

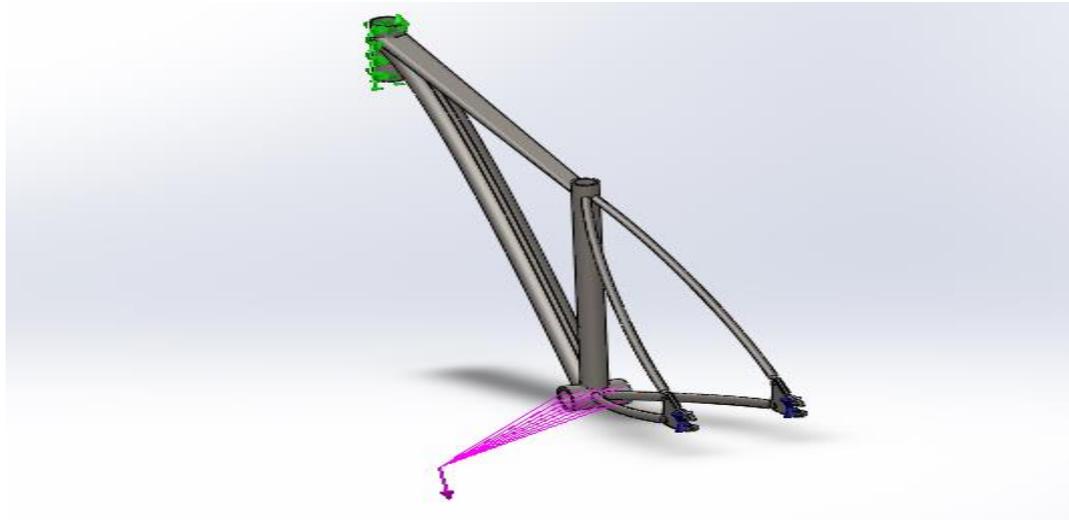


Figura 40. Ensayo 3

Tabla 16. Resultados Ensayo 3

Materiales	Acero	Aluminio	Titanio	Fibra Carbono
Ensayo 3				
Tensiones (MPa)	152.6	149.5	148.7	570.7
Deformaciones (mm)	2.2	6.5	3.9	1.6
Factor de Seguridad	2.4	1.4	4.6	0.47
Daño por Fatiga	20%	8100%	2%	-

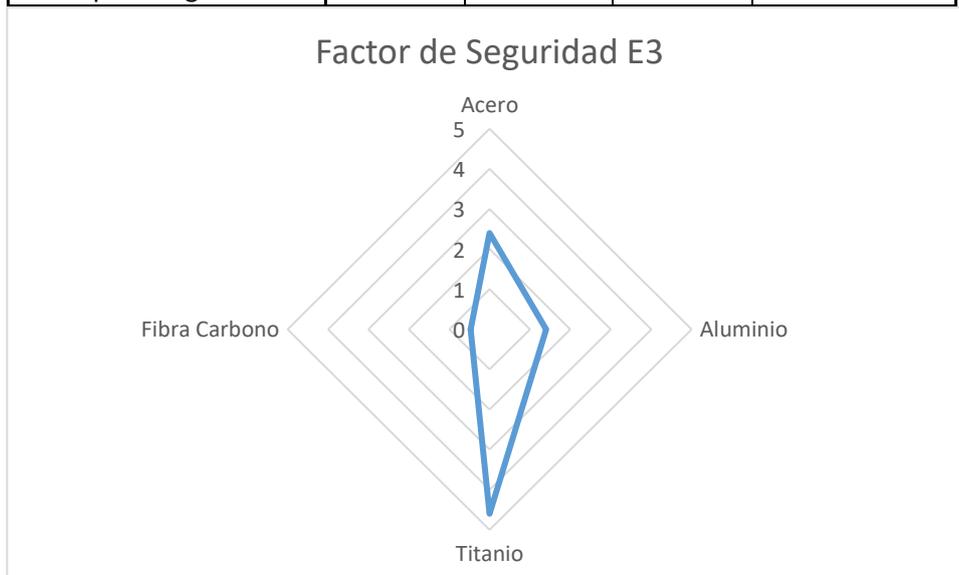


Figura 41. Factor de Seguridad resultante Ensayo 3

III. Desarrollo proyecto

En este ensayo podemos observar como afecta las fuerzas de pedaleo a los distintos materiales en el cuadro. Los 3 metales llegan a los 100.000 ciclos aun que el aluminio sufre bastante daño por fatiga. La Fibra de carbono, aun que en su totalidad llega a tener un factor de seguridad de 2.76, en las capas superiores el factor solo llega a 0.47 y por lo tanto no puede resistir a la carga de pedaleo.

Tabla 17. Resultados completos análisis

Materiales	Acero	Aluminio	Titanio	Fibra Carbono
Ensayo 1				
Tensiones (MPa)	36.88	25.14	25.1	45.86
Deformaciones (mm)	0.1584	0.4684	0.2862	0.1926
Factor de Seguridad	18	11	35	34
Ensayo 2				
Tensiones (MPa)	429	424.6	423.6	4556
Deformaciones (mm)	10	29.5	18	1306
Factor de Seguridad	1.1	0.64	2.1	0.16
Daño por Fatiga	5%	428%	0.50%	-
Ciclos de Vida mínimo (N ciclos)	1000000	11680	1000000	-
Ensayo 3				
Tensiones (MPa)	152.6	149.5	148.7	570.7
Deformaciones (mm)	2.2	6.5	3.9	1.6
Factor de Seguridad	2.4	1.4	4.6	0.47
Daño por Fatiga	20%	8100%	2%	-

III. Desarrollo proyecto

III.8. Conclusiones.

A continuación, se procederá a concluir el proyecto teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los ensayos propuestos y también se procederá a proponer propuestas de mejoras para futuras fases del proyecto.

La principal componente de este proyecto ha sido el modelo CAD del cuadro, debido a que el diseño elegido ha dictado los resultados del análisis, hecho que se puede observar en cuanto al análisis de la fibra de carbono. Debido a que el diseño elegido fue la de una bicicleta de montaña clásica y simple no ha permitido usar la fibra de carbono a su potencial máximo.

Según los resultados obtenidos se observa que el titanio es el material que mejor se adapta a las necesidades del cuadro de bicicleta de montaña elegido, debido a su gran resistencia y buenas propiedades mecánicas, aunque estas propiedades vienen a un coste muy elevado debido a la alta dificultad de mecanizar el titanio.

El aluminio aun que no ha tenido las mejores prestaciones en nuestro cuadro esto se puede remediar muy fácil aumentando el grosor de las tuberías, debido a su ligero peso se puede llegar a tener prestaciones similares a los demás materiales.

También podemos observar que el acero siempre quedara una opción viable para las bicicletas de montaña aun que su elevado peso lo deja muy atrás en la lista de preferencias.

Debido al carácter ortotropico de la fibra de carbono ha salido muy desventajada en un modelo de cuadro que se basa en soldaduras como método de unión, estas limitaciones y mas han hecho que el carbono sea poco viable pero quitando el aspecto del diseño la fibra de carbono seria el material que mejores prestaciones tendría debido a un peso muy ligero, alta rigidez y alto limite elástico.

III. Desarrollo proyecto

Posibles mejoras para este proyecto en un futuro tratasen de:

- Usar la fibra de carbono en un modelo mas adecuado a sus propiedades para sacar resultados mas precisos y mejores comparaciones.
- Añadir una variedad más grande de ensayos que comprueben distintos aspectos del cuadro como un estudio de frecuencia y un estudio térmico.
- Introducir mas componentes de la bicicleta para observar como reaccionan en conjunto con el cuadro.

Finalmente, este trabajo me ha empujado a aprender mas y a la vez me ha ensañado cuanto me queda por aprender.

IV. APÉNDICES

APÉNDICES

IV. Apéndices

IV.1. Resultados del análisis.

IV.1.1 Acero.

IV.1.1.1 Primer ensayo.

Este ensayo trata de simular el comportamiento del cuadro al estar sometido al peso de una persona. Abajo, se puede observar los esfuerzos que han sido usados para este ensayo:

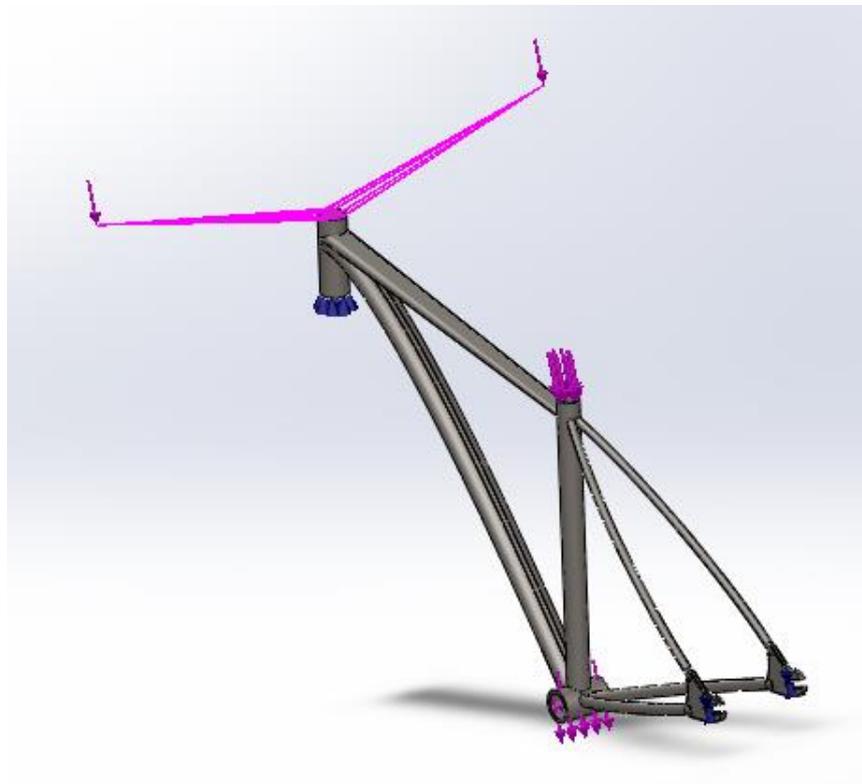


Figura 42. Cargas ensayo 1

Abajo se pueden observar los resultados de la simulación, empezando por el estado tensional del cuadro.

IV. Apéndices

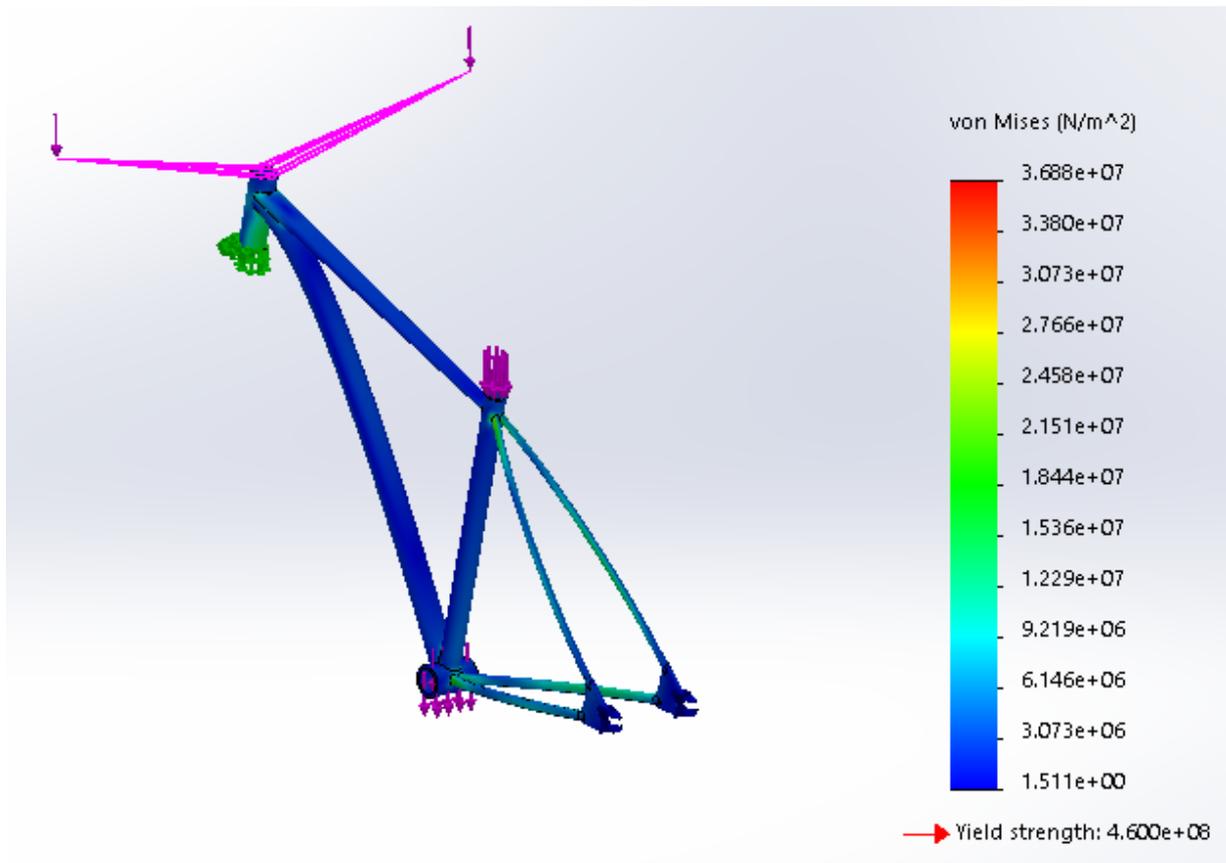


Figura 43. Resultado del análisis estático acero. Tensiones resultantes

Para que este ensayo sea positivo la tensión máxima que sufre el cuadro no puede ser superior a la tensión de rotura de material. El límite de rotura del Reynolds 525 es de 460 MPa y como se puede observar de la figura de arriba el valor máximo que sufre el cuadro es de 36.88 MPa por lo cual en estas condiciones el cuadro no romperá.

IV. Apéndices

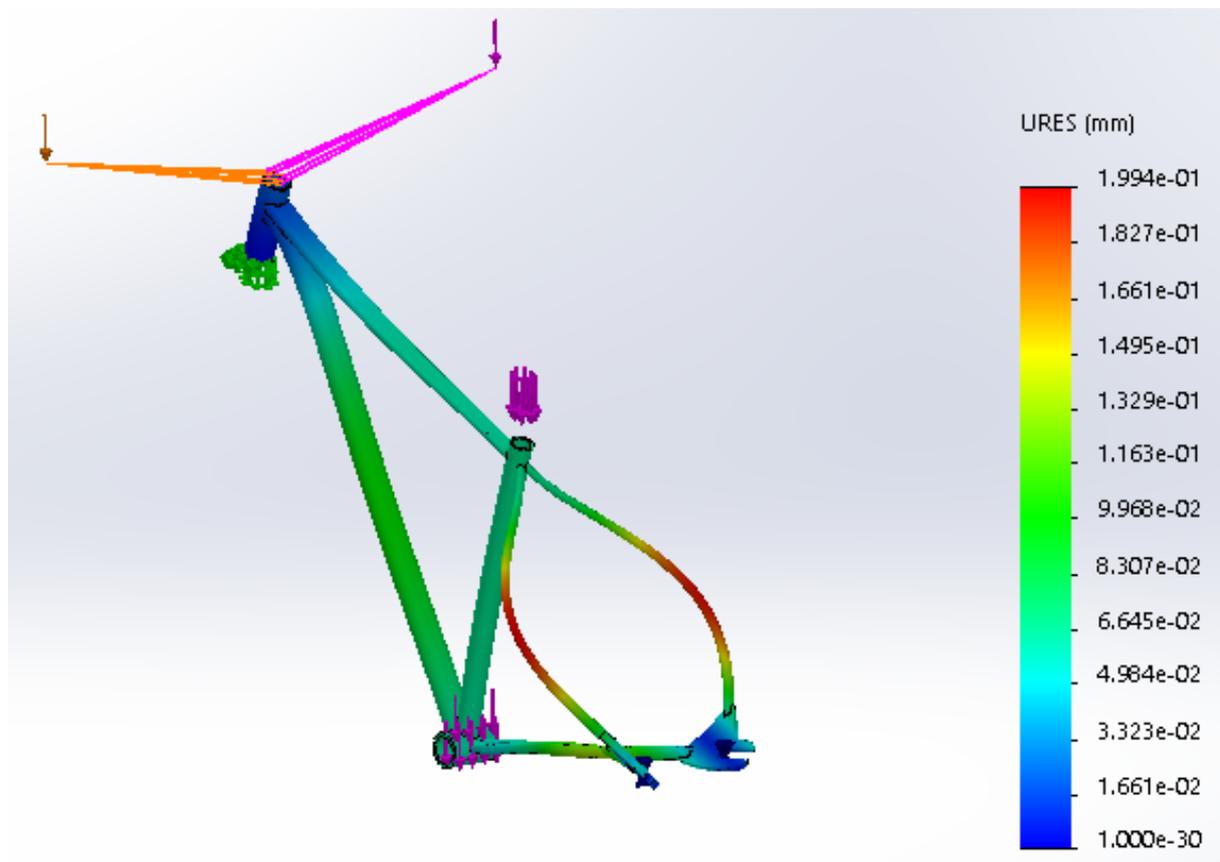


Figura 44. Resultado del análisis estático para acero. Deformaciones resultantes

En cuanto a deformaciones se puede apreciar que el cuadro se deforma menos de 0.2 mm siendo la zona mas afectada los tubos de la vaina superior. La imagen muestra una deformación exagerada para poder observar la zona más afectada con facilidad.

IV. Apéndices

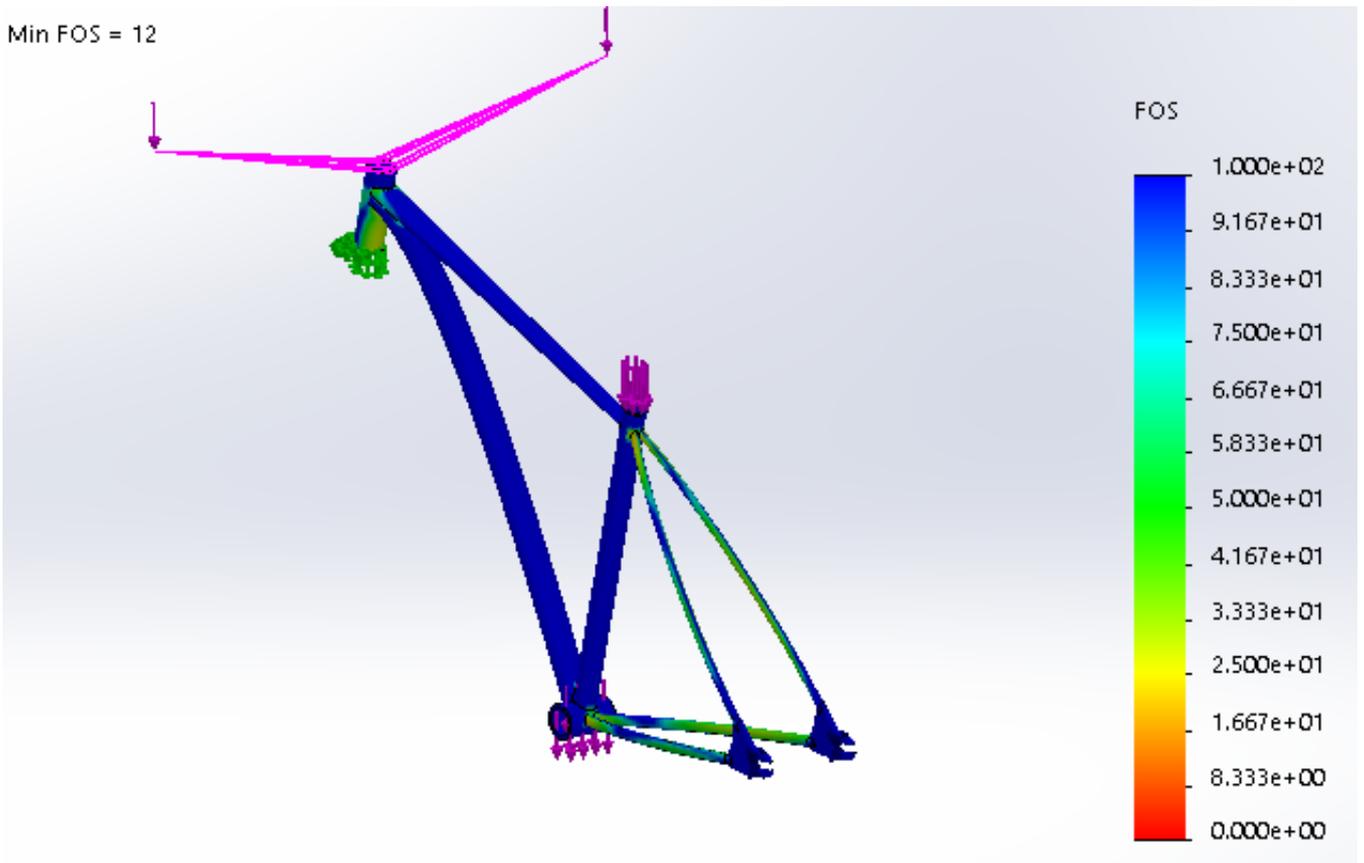


Figura 45. Acero. Resultado de estudio de tensiones de acero. Factor de seguridad.

En esta captura se muestra el factor de seguridad del cuadro para este ensayo. El factor de seguridad (n) es un coeficiente que muestra la relación entre la resistencia del material a la fluencia y el valor de la tensión ejercida sobre dicha pieza.

$$F_s = \frac{S_y}{\sigma} = \frac{\text{Limite elastico}}{\text{Tension ejercida}}$$

Para que una pieza no se deforme y se rompa el factor debe de estar por encima 1, y como se puede observar en este ensayo el Factor de seguridad mínimo es de 12 por lo cual el cuadro no va a romper bajo estas condiciones.

IV. Apéndices

IV.1.1.2 Segundo ensayo.

El segundo ensayo se trata de simular los esfuerzos que sufre la horquilla y la parte delantera del cuadro al estar sometida a una actividad intensa. Abajo se puede observar los esfuerzos al que estará sometido el cuadro:

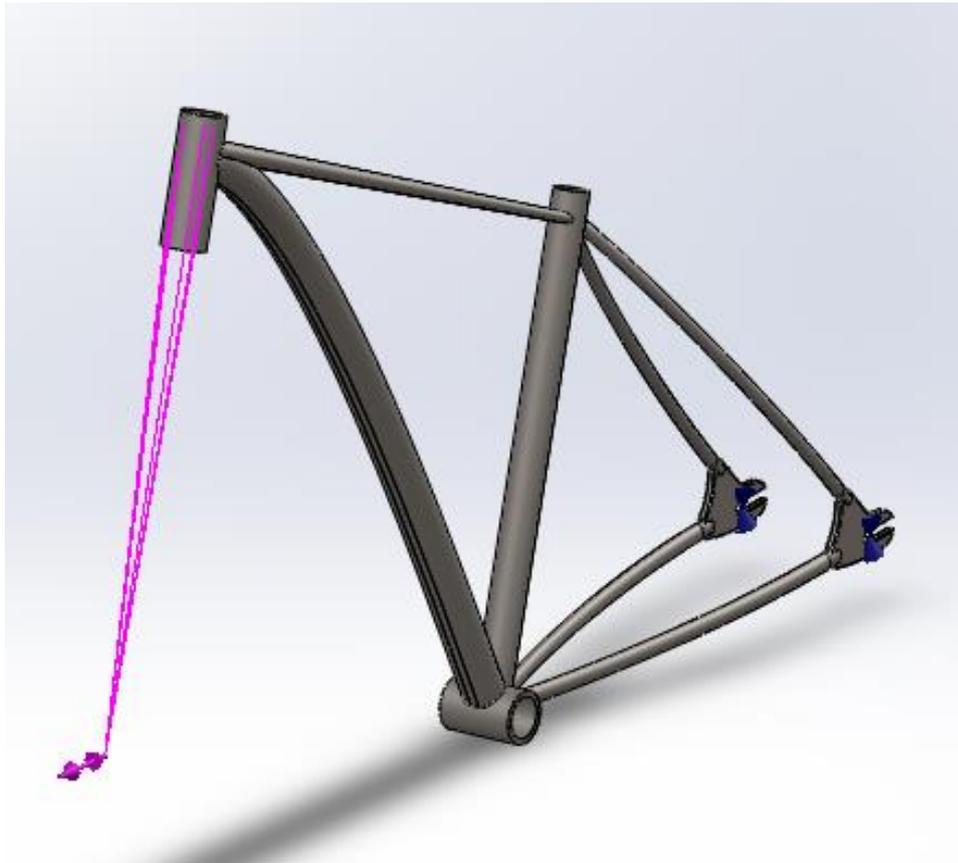


Figura 46. Esfuerzos sobre el cuadro ensayo 2

A continuación se podrán observar el resultado e asta simulación

IV. Apéndices

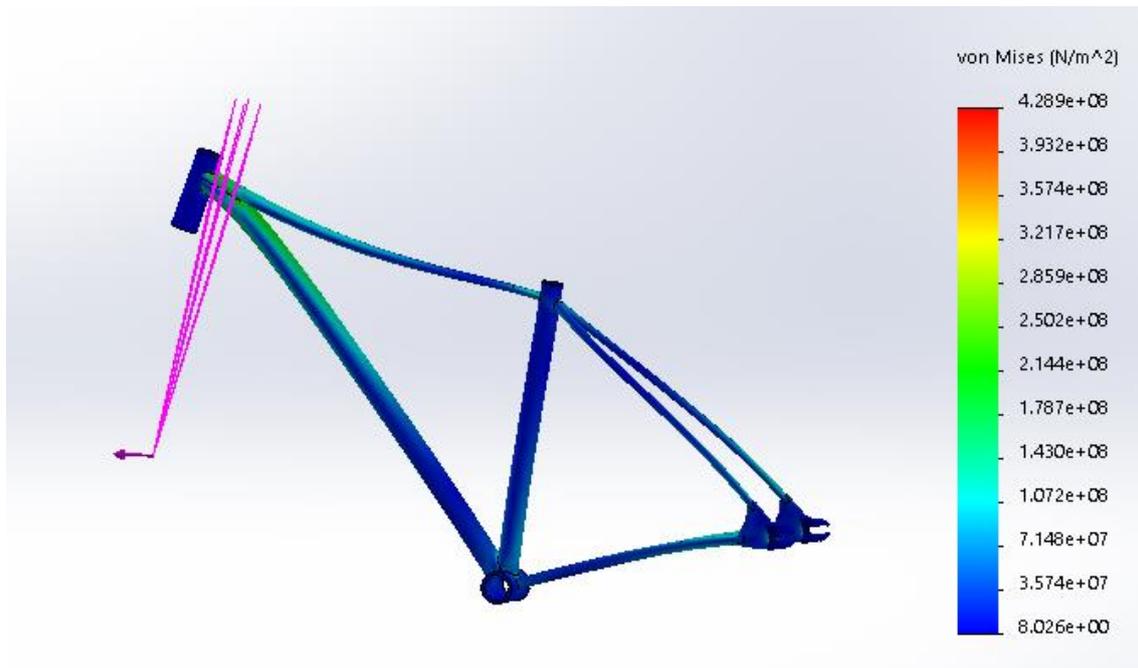


Figura 47. Acero. Ensayo 2. Tensiones

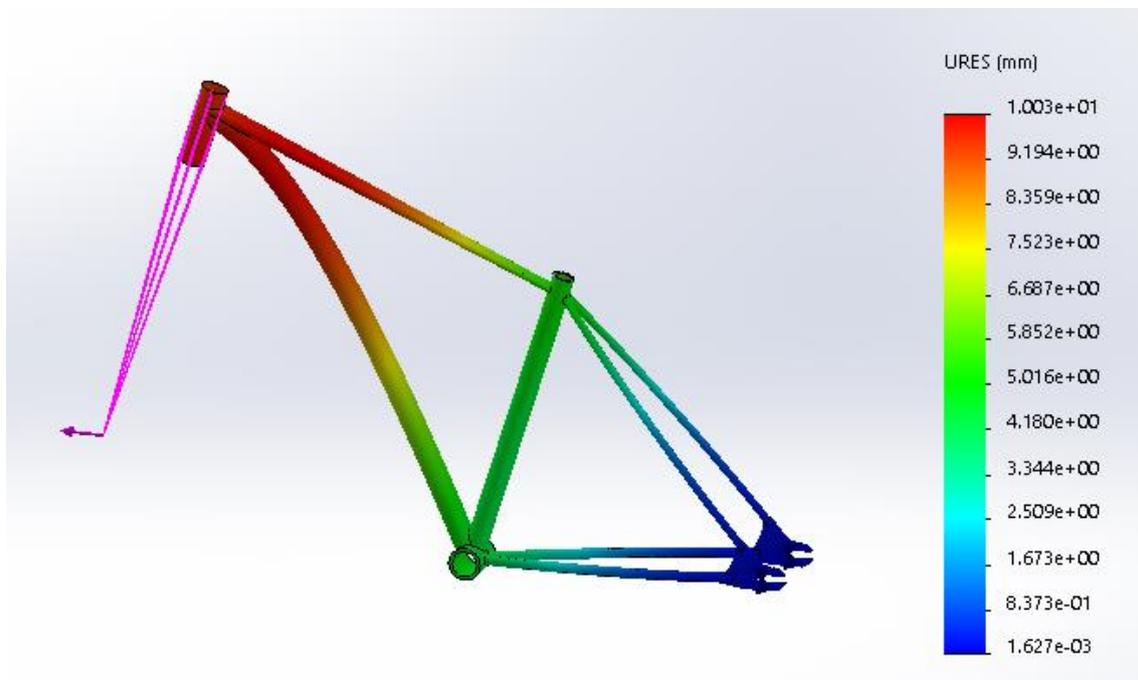


Figura 48. Acero. Ensayo 2. Deformación

IV. Apéndices

Factor of safety distribution: Min FOS = 1,1

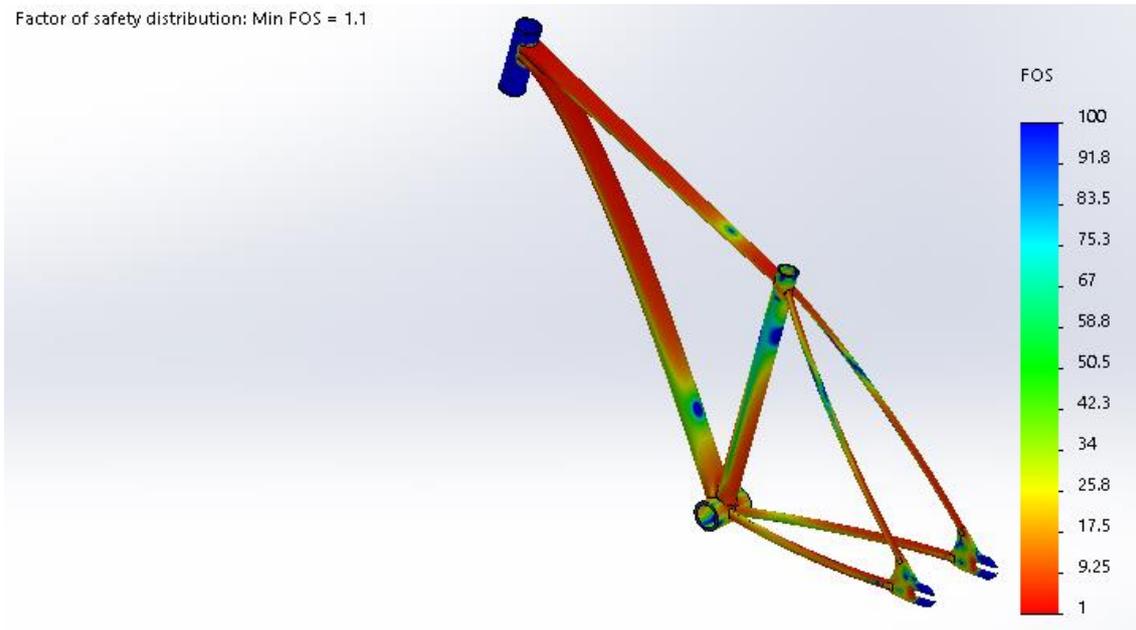


Figura 49. Acero. Ensayo 2. Factor de seguridad mínimo

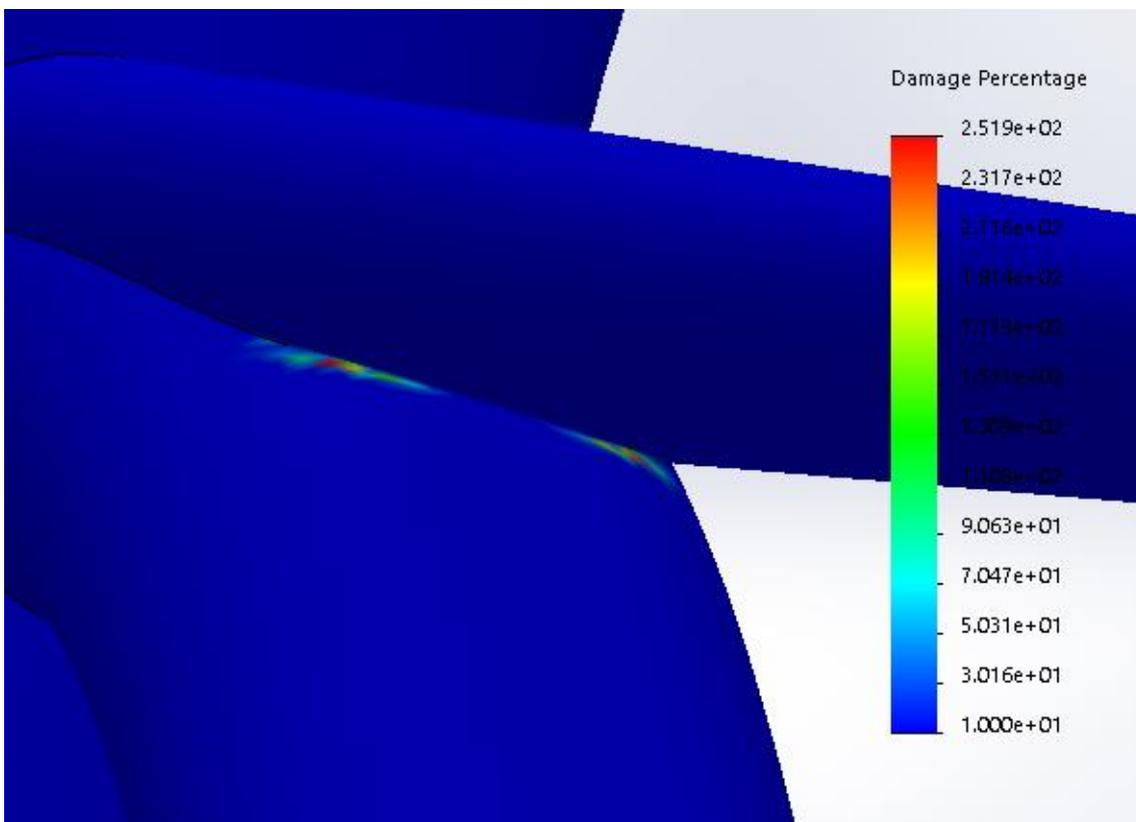


Figura 50. Acero. Ensayo 2. Porcentaje daño

IV. Apéndices

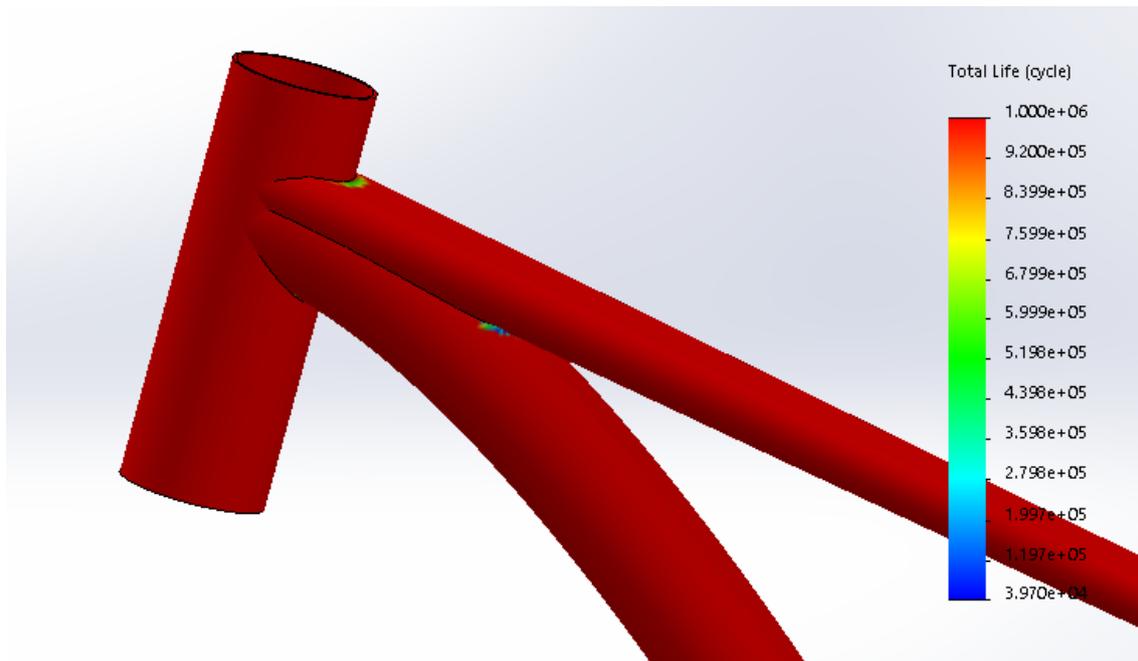


Figura 51. Acero. Ensayo 2. Vida útil

Como se puede observar hay varias zonas donde la fuerza supera la resistencia del material hecho que disminuye la vida útil de la pieza.

IV. Apéndices

IV .1.1.3 Tercer ensayo

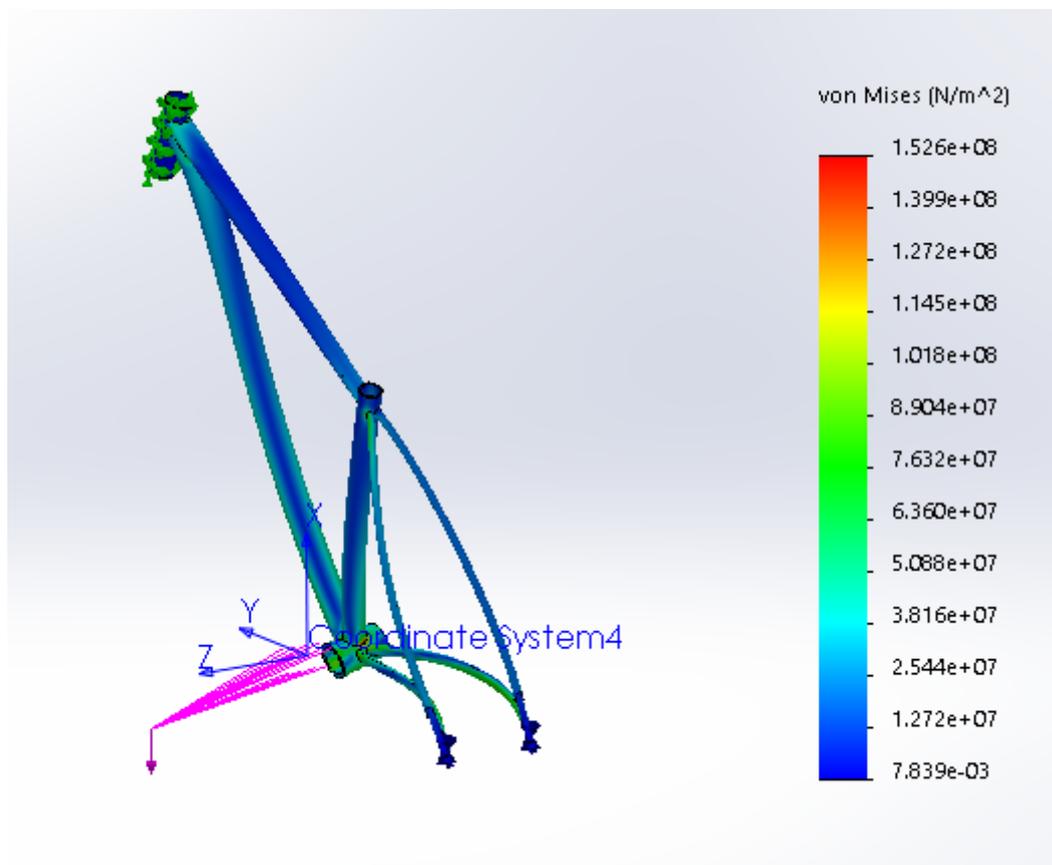


Figura 52. Acero. Ensayo 3. Tensiones

IV. Apéndices

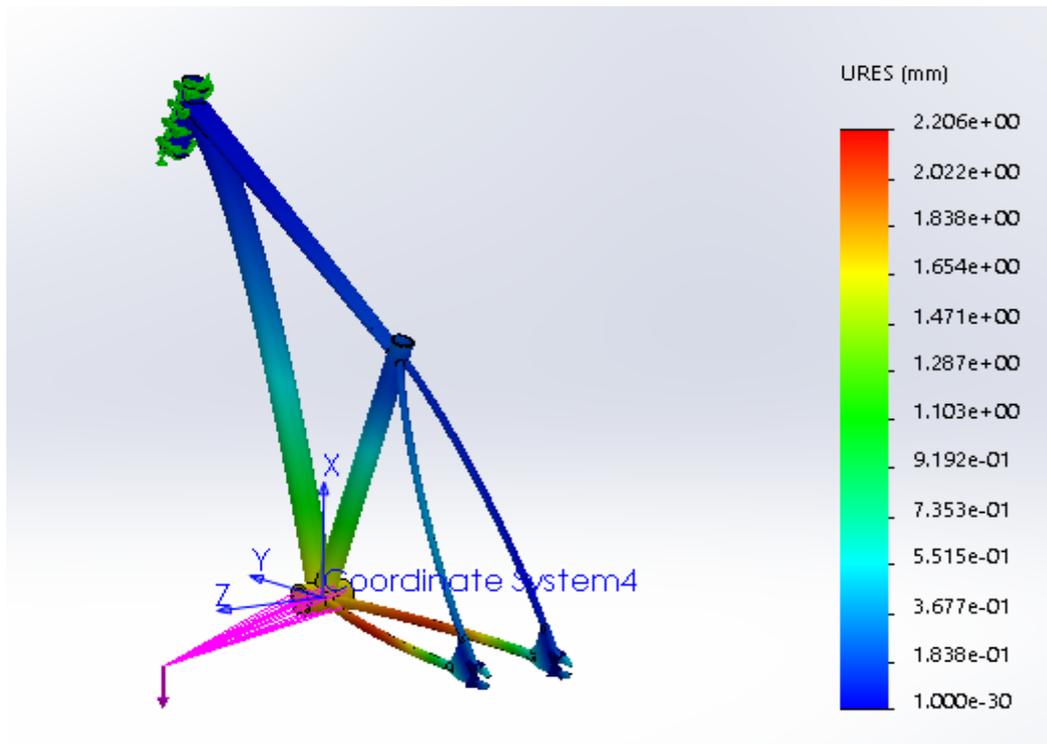


Figura 53. Acero. Ensayo 3. Deformaciones

Factor of safety distribution: Min FOS = 2.4

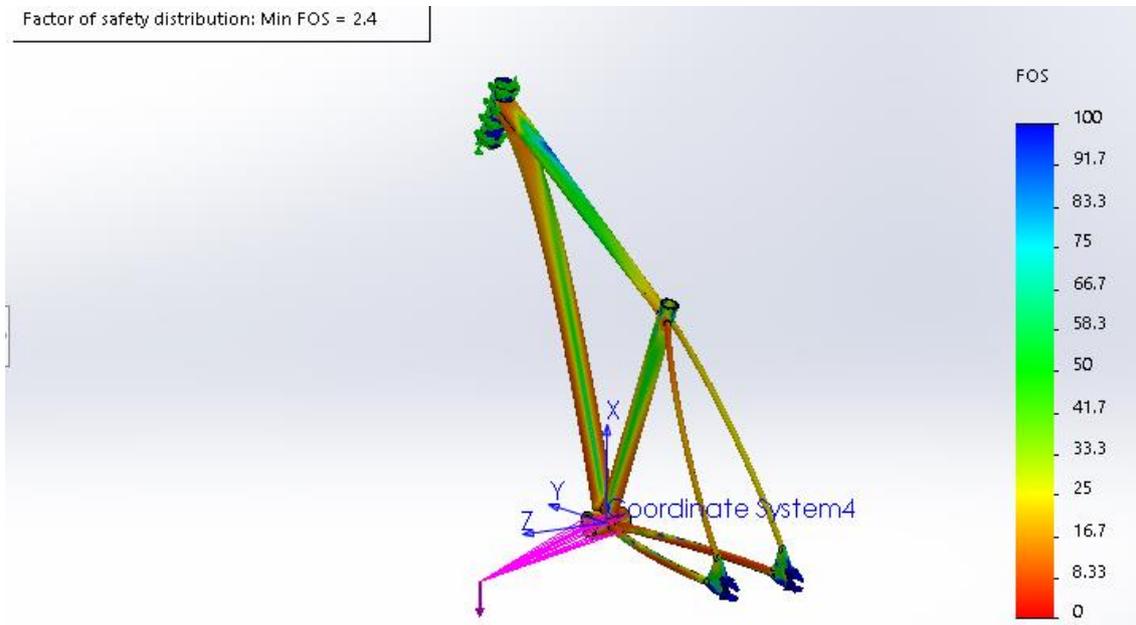


Figura 54. Acero. Ensayo 3. Factor de seguridad.

IV. Apéndices

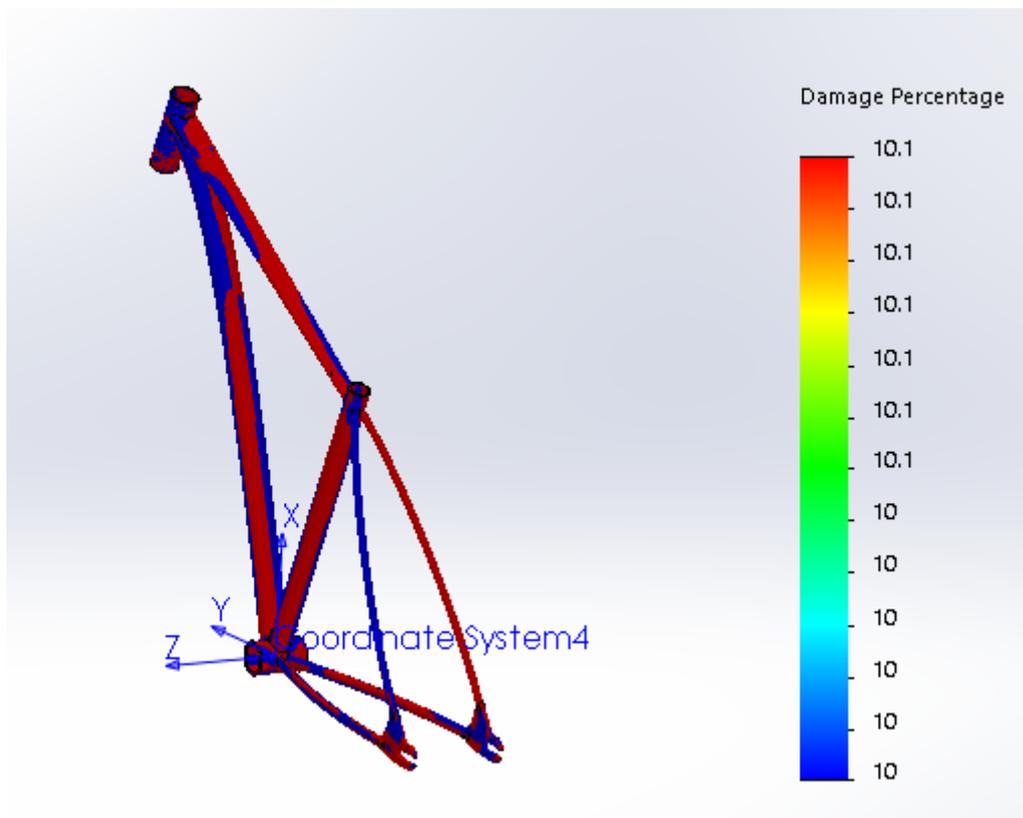


Figura 55. Acero. Ensayo 3. Daño por Fatiga

IV. Apéndices

IV.1.2 Aluminio.

IV.1.2.1 Primer ensayo.

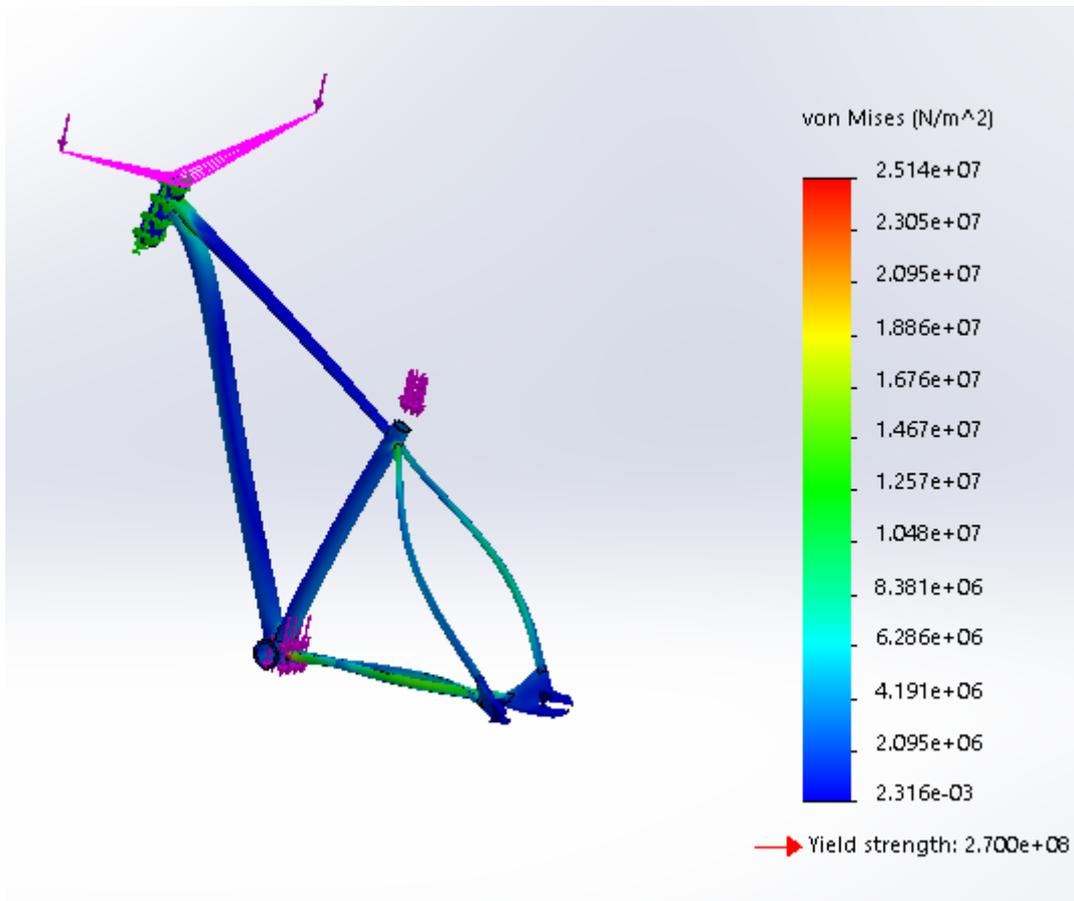


Figura 56. Aluminio. Ensayo 1. Tensiones.

IV. Apéndices

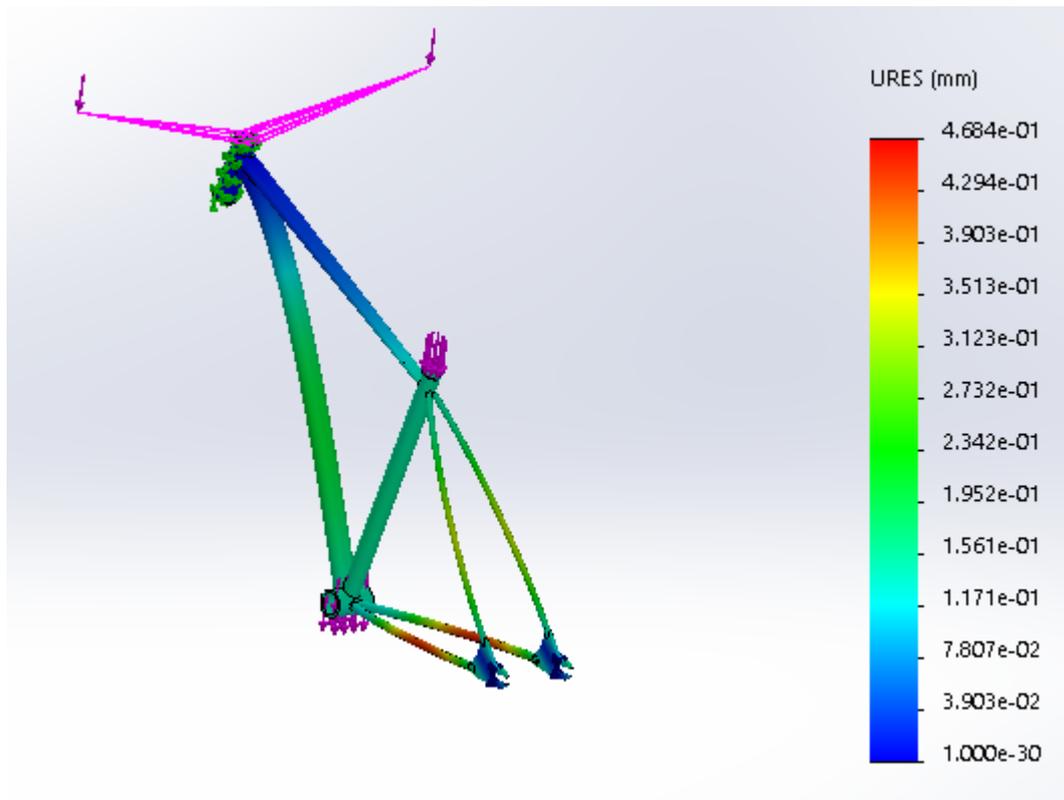


Figura 57. Aluminio. Ensayo 1. Deformaciones

Factor of safety distribution: Min FOS = 11

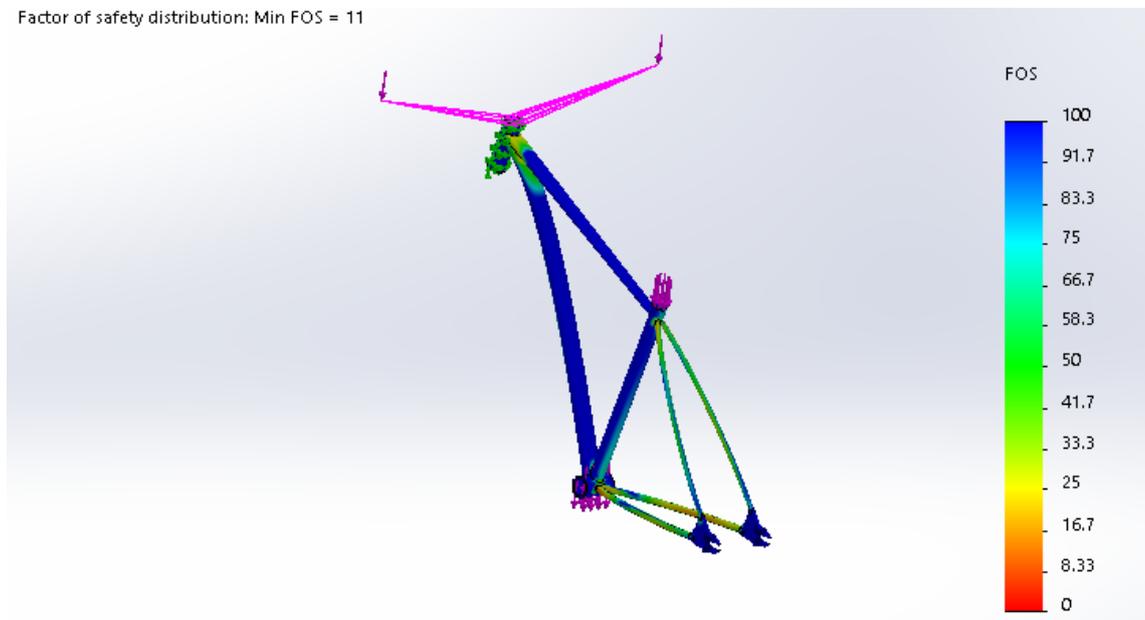


Figura 58. Aluminio. Ensayo 1. Factor de Seguridad.

IV. Apéndices

IV.1.2.2 Segundo ensayo.

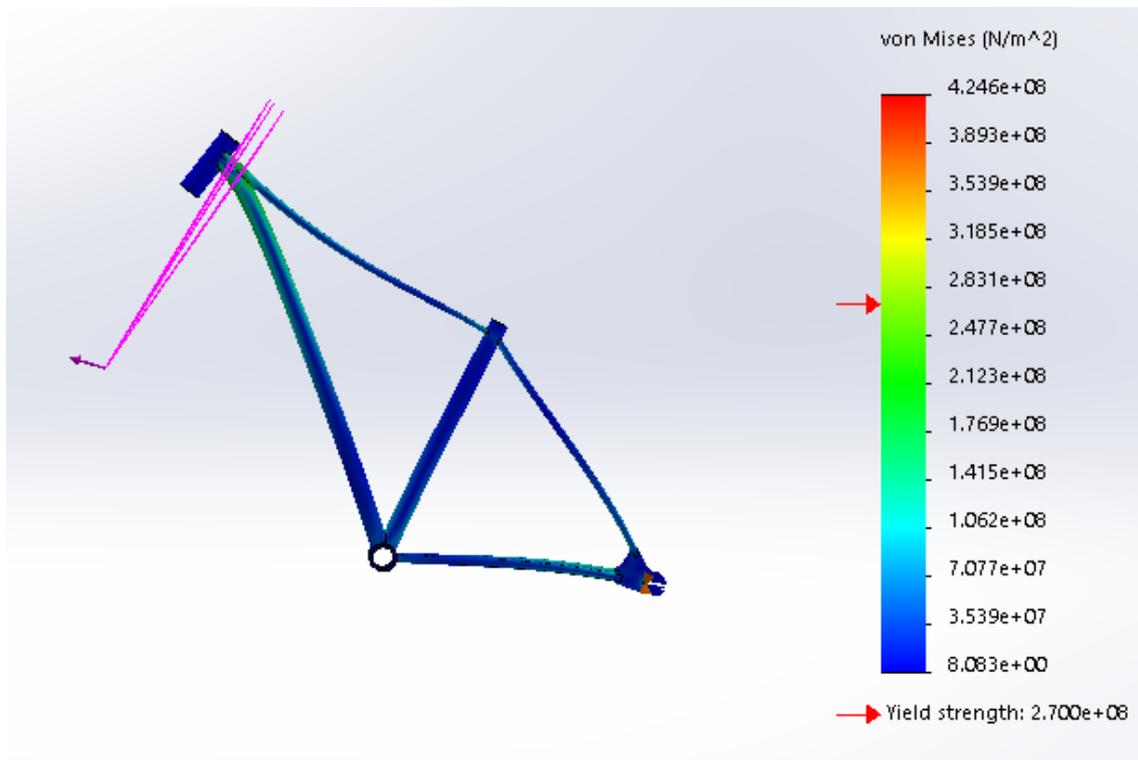


Figura 59. Aluminio. Ensayo 2. Tensiones

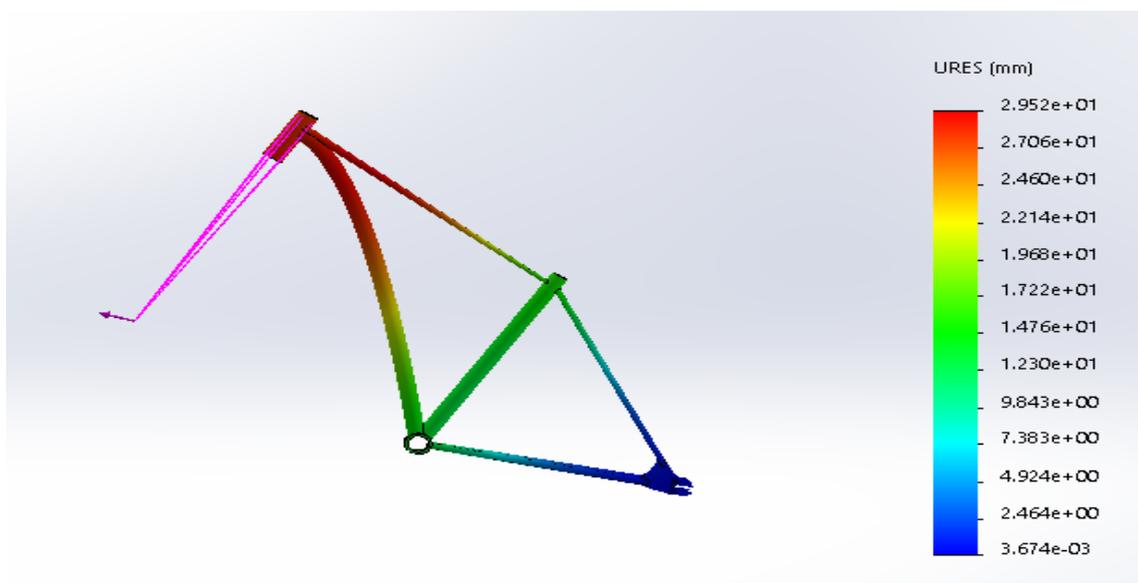


Figura 60. Aluminio. Ensayo 2. Deformaciones.

IV. Apéndices

Factor of safety distribution: Min FOS = 0.64

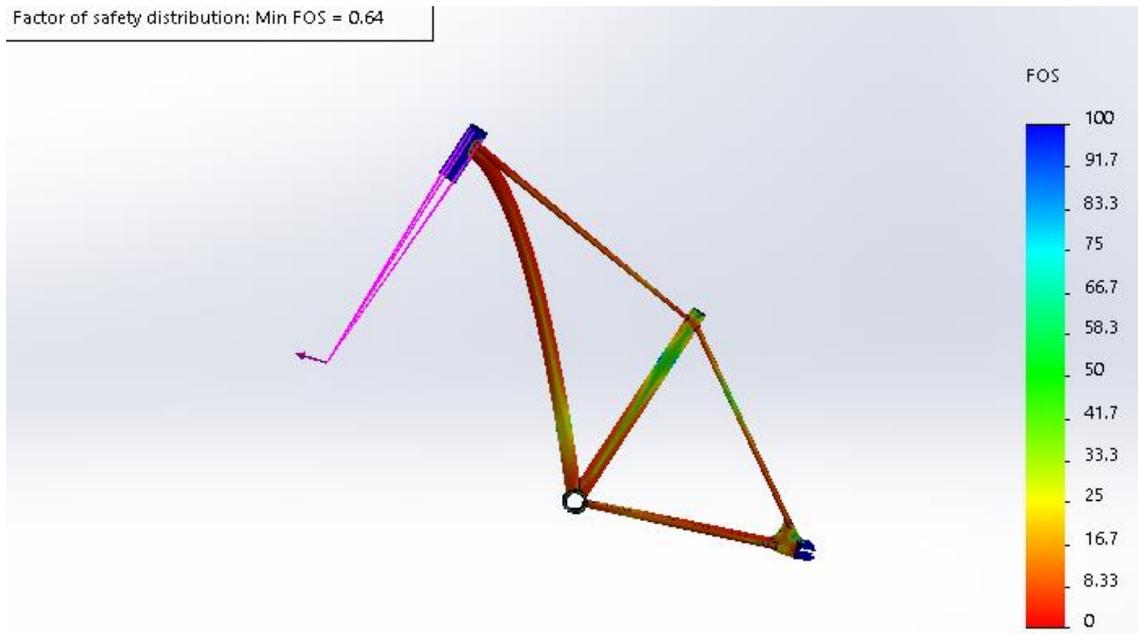


Figura 61. Aluminio. Ensayo 2. Factor de Seguridad.

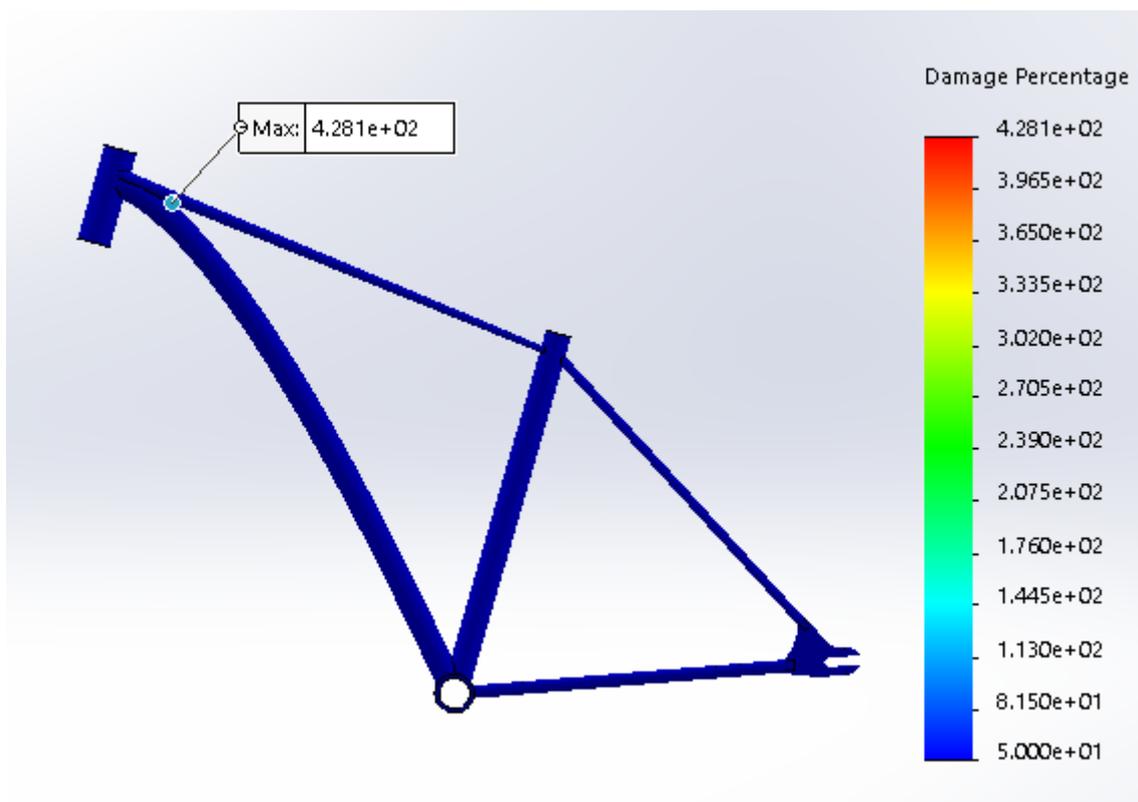


Figura 62. Aluminio. Ensayo 2. Daño por fatiga.

IV. Apéndices

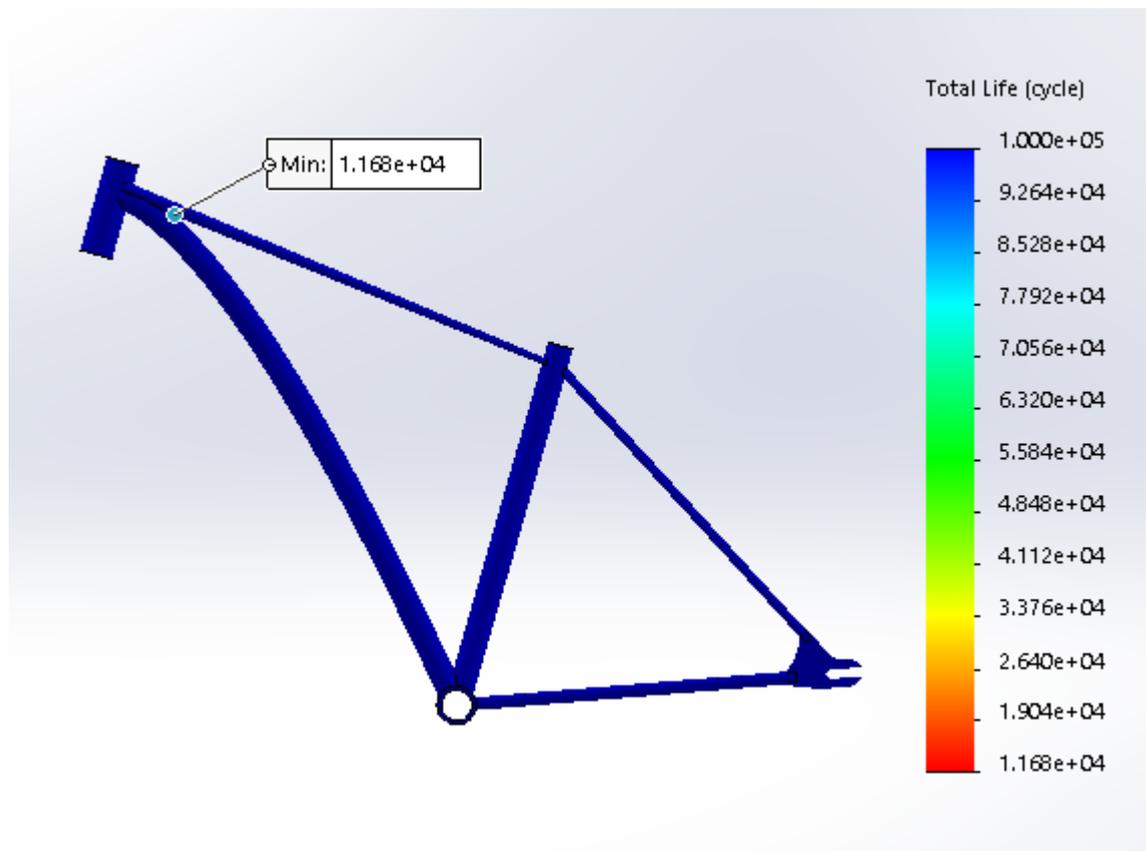


Figura 63. Aluminio. Ensayo 2. Ciclos de vida.

IV. Apéndices

IV.1.2.3 Tercer ensayo.

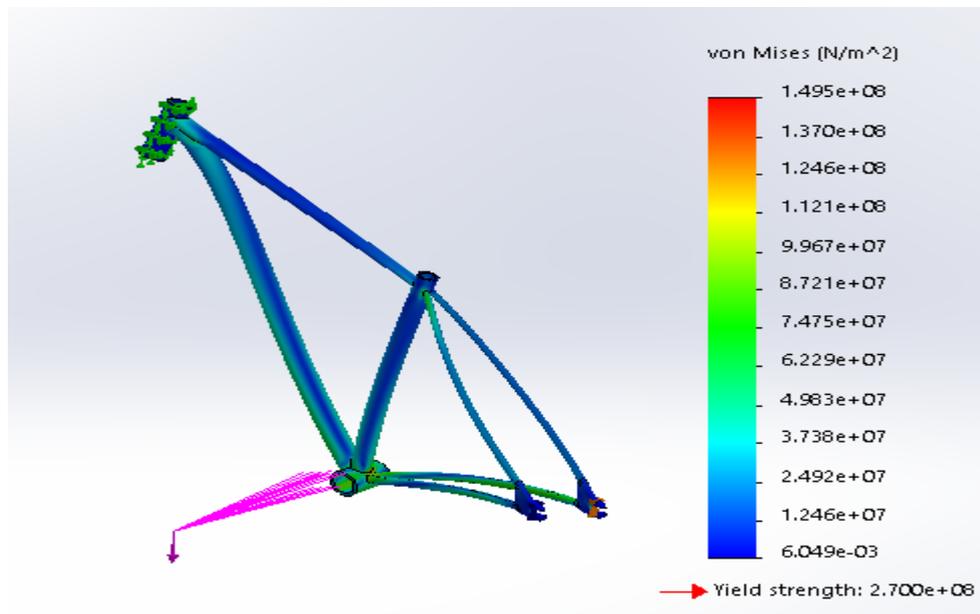


Figura 64. Aluminio. Ensayo 3. Tensiones

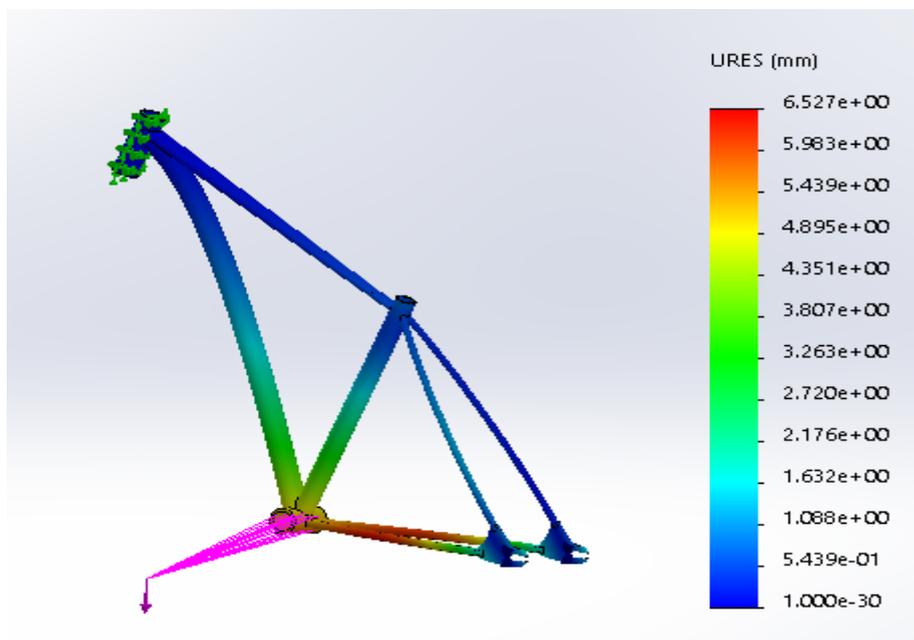


Figura 65. Aluminio. Ensayo 3. Deformaciones.

IV. Apéndices

Factor of safety distribution: Min FOS = 1.4

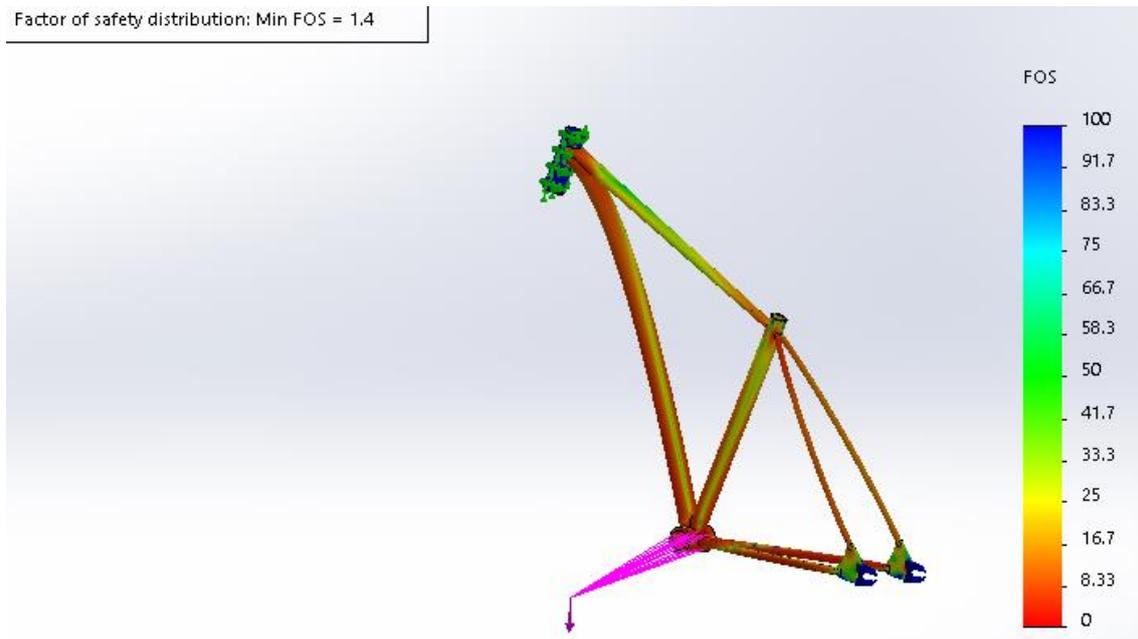


Figura 66. Aluminio. Ensayo 3. Factor de Seguridad.

IV. Apéndices

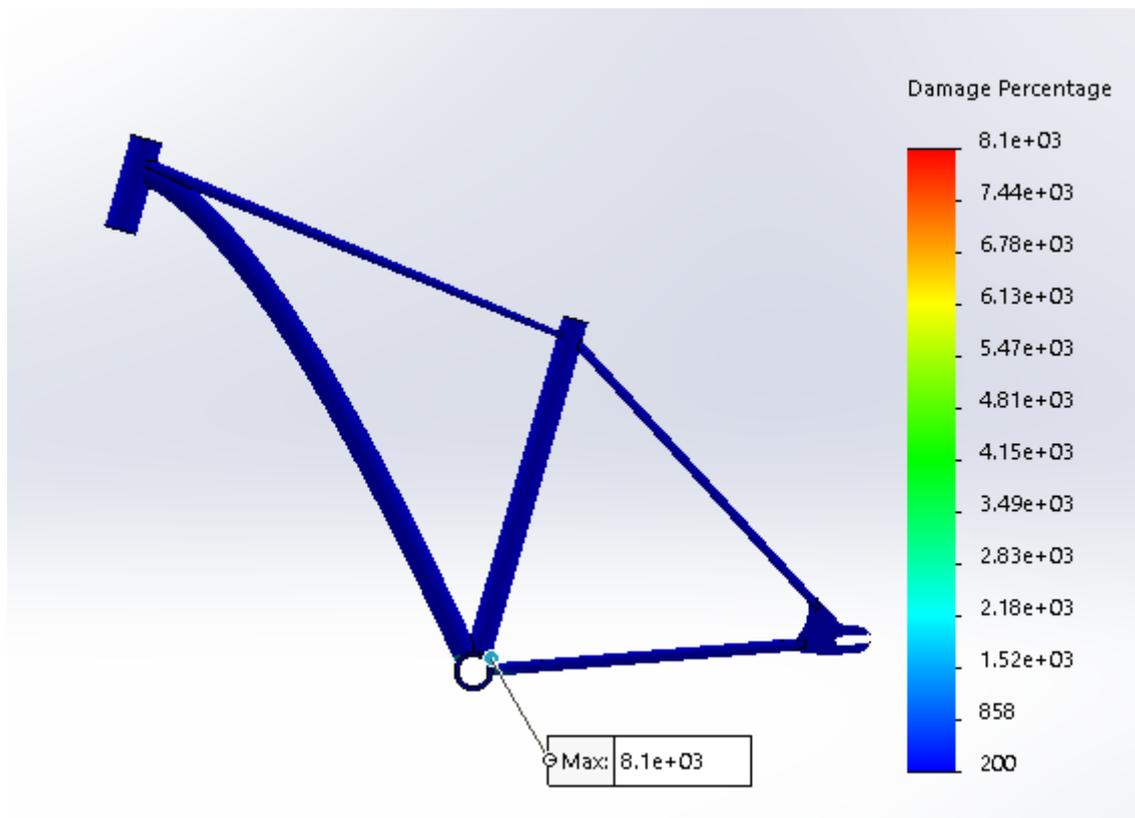


Figura 67. Aluminio. Ensayo 3. Daño por Fatiga.

IV. Apéndices

IV.1.3 Titanio.

IV.1.3.1 Primer ensayo.

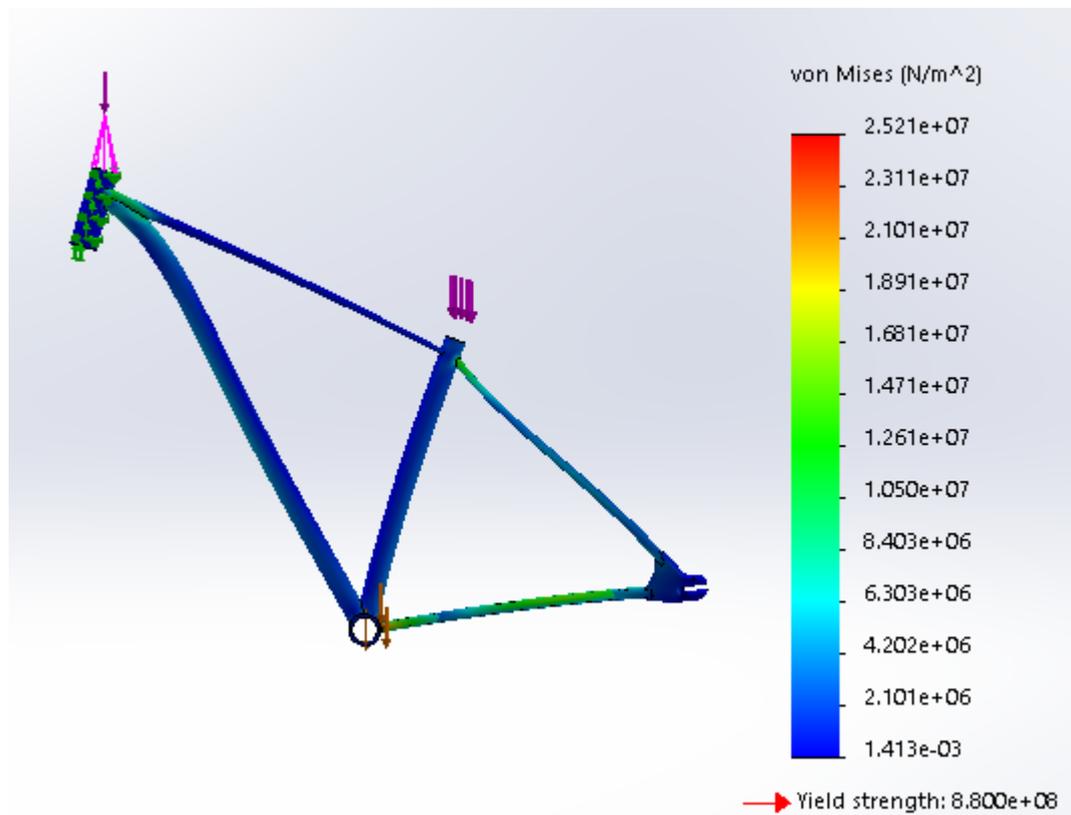


Figura 68. Titanio. Ensayo 1. Tensiones

IV. Apéndices

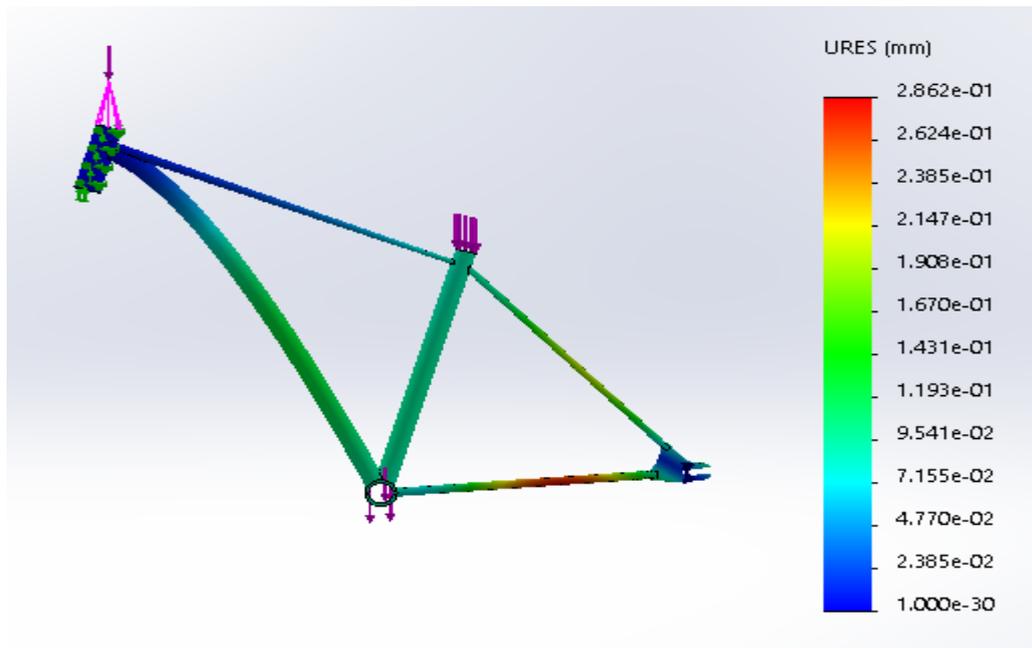


Figura 69. Titanio. Ensayo 1. Deformaciones.

Factor of safety distribution: Min FOS = 35

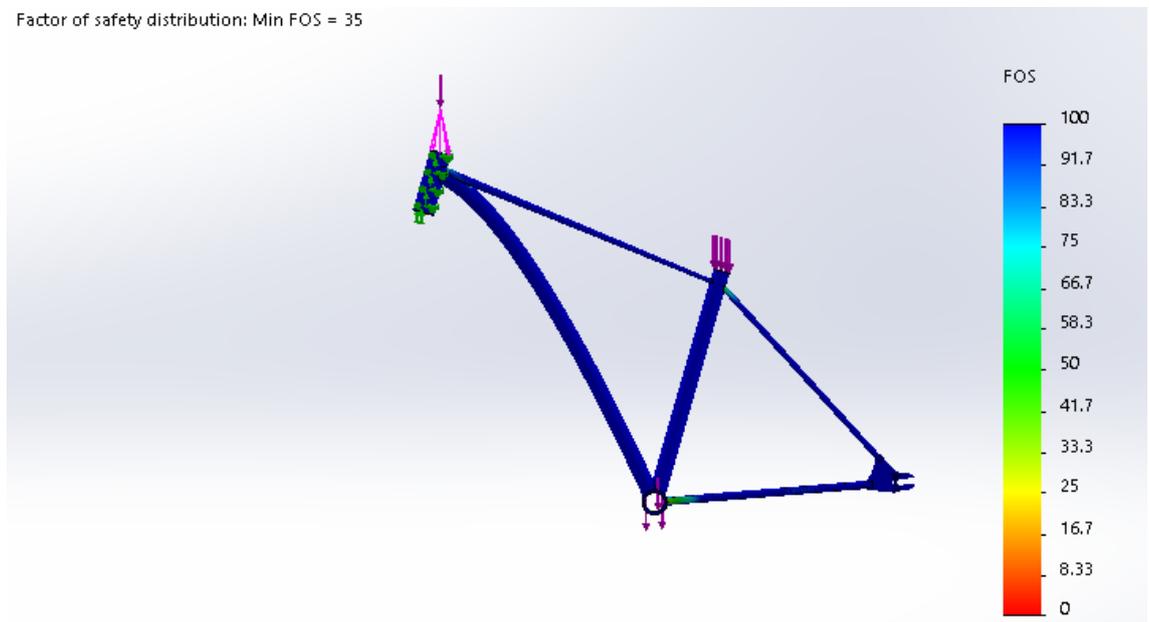


Figura 70. Titanio. Ensayo 1. Factor de seguridad.

IV. Apéndices

IV.1.3.2 Segundo ensayo.

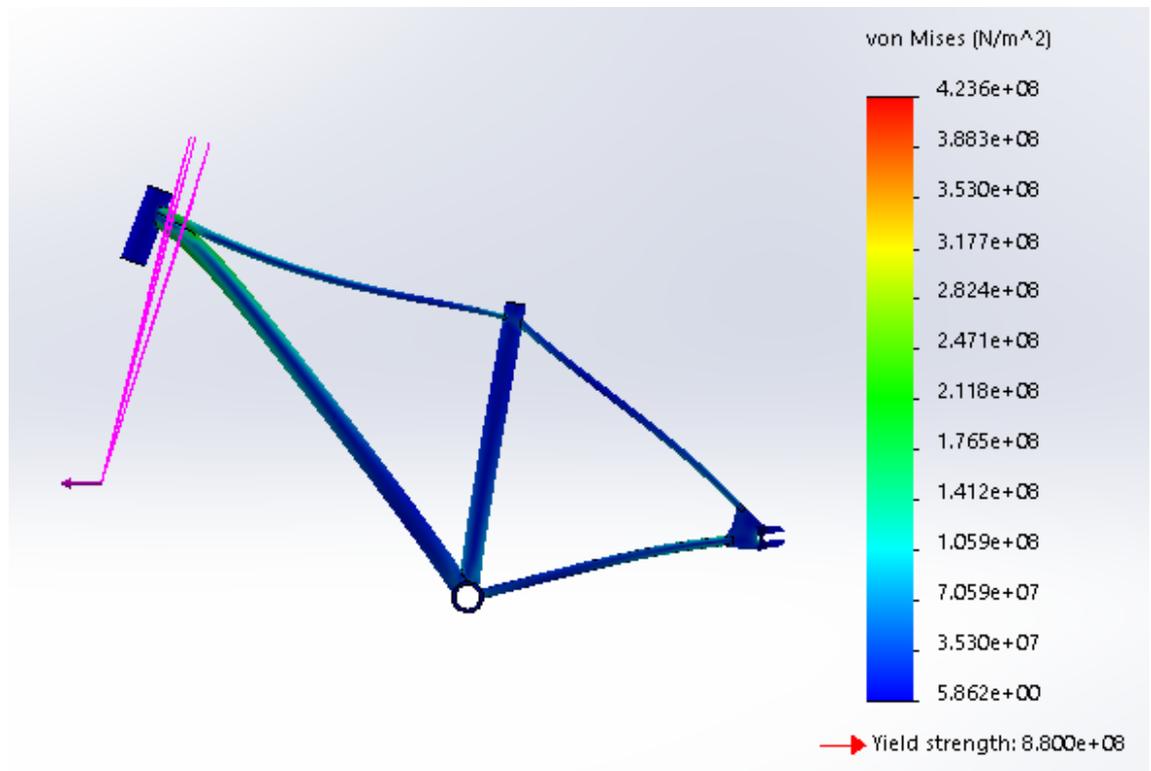


Figura 71. Titanio. Ensayo 2. Tensiones.

IV. Apéndices

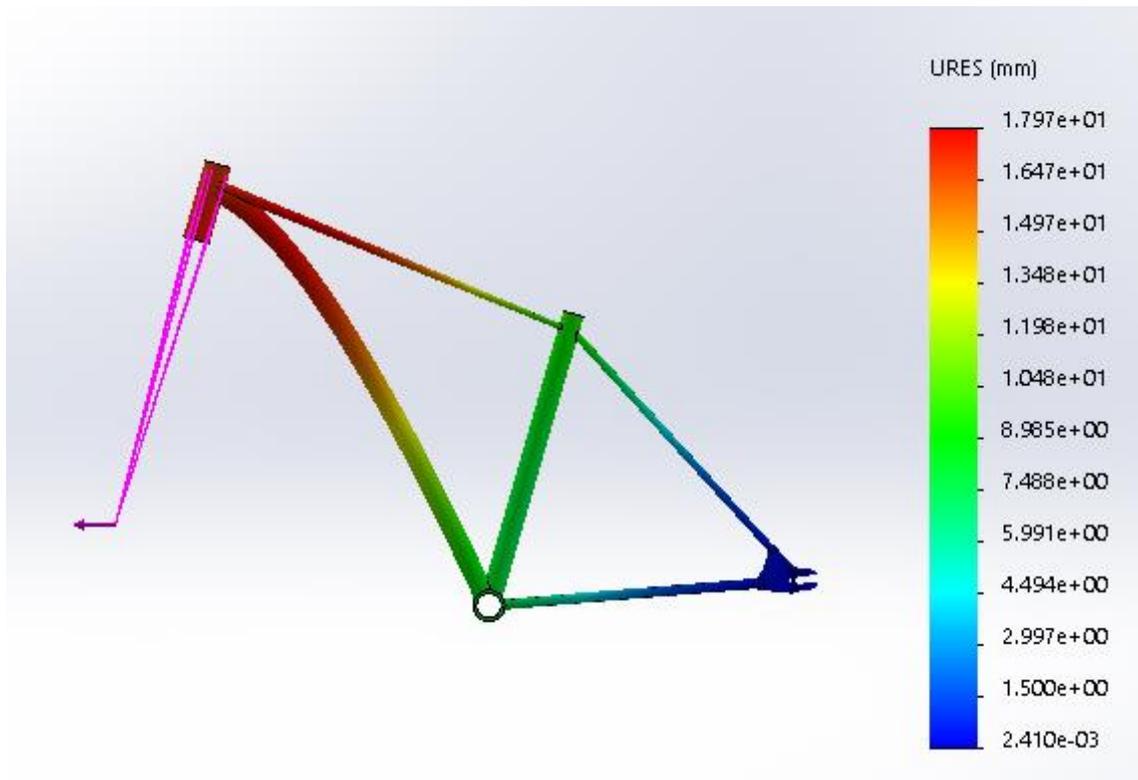


Figura 72. Titanio. Ensayo 2. Deformaciones.

Factor of safety distribution: Min FOS = 2.1

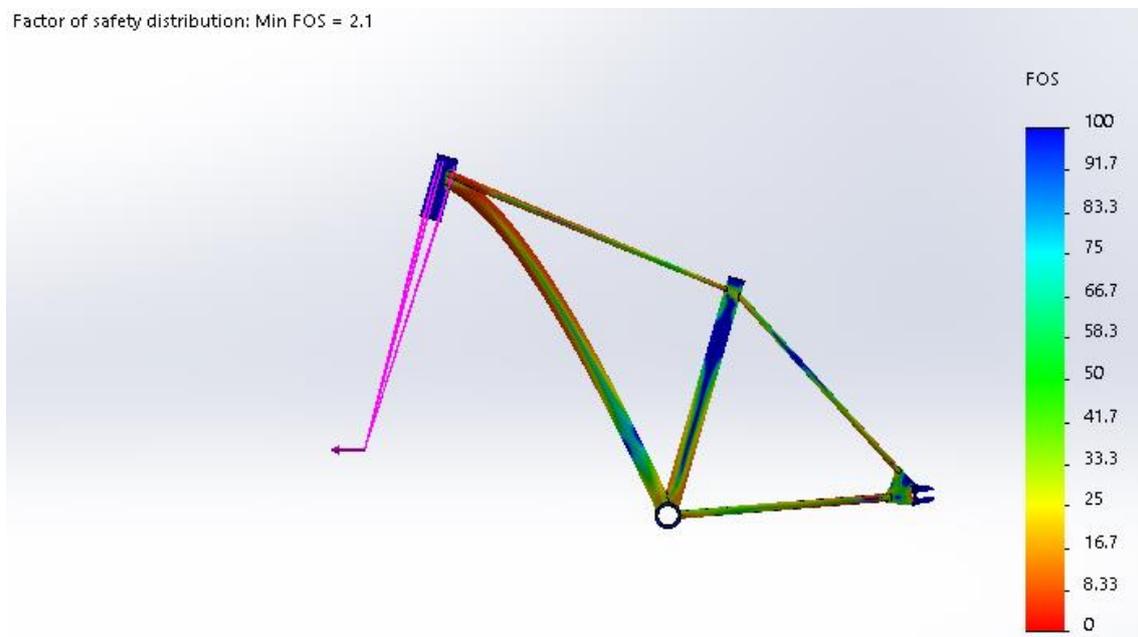


Figura 73. Titanio. Ensayo 2. Factor de seguridad.

IV. Apéndices

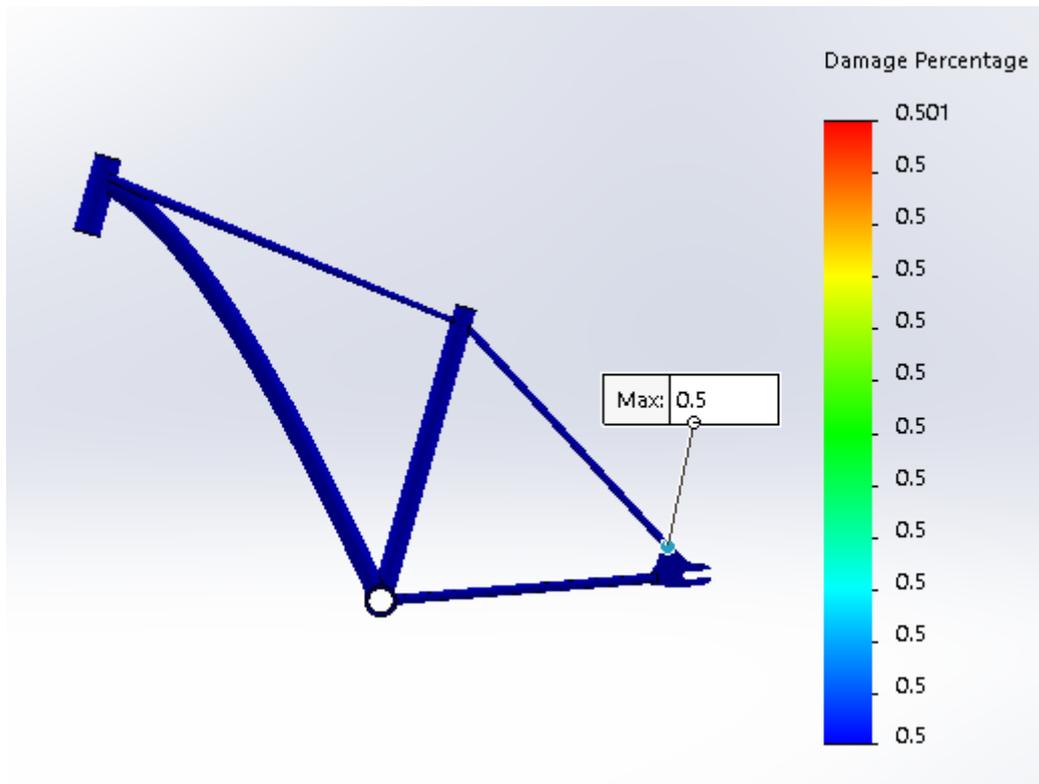


Figura 74. Titanio. Ensayo 2. Daño por Fatiga.

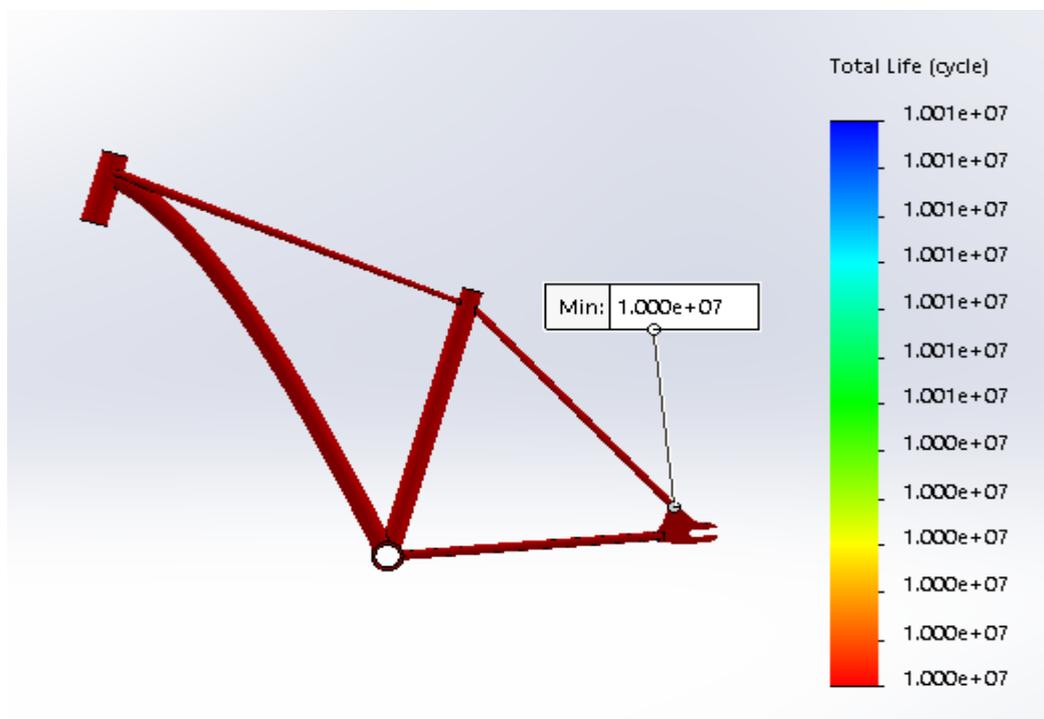


Figura 75. Titanio. Ensayo 2. Ciclos de Vida.

IV. Apéndices

IV.1.3.3 Tercer ensayo.

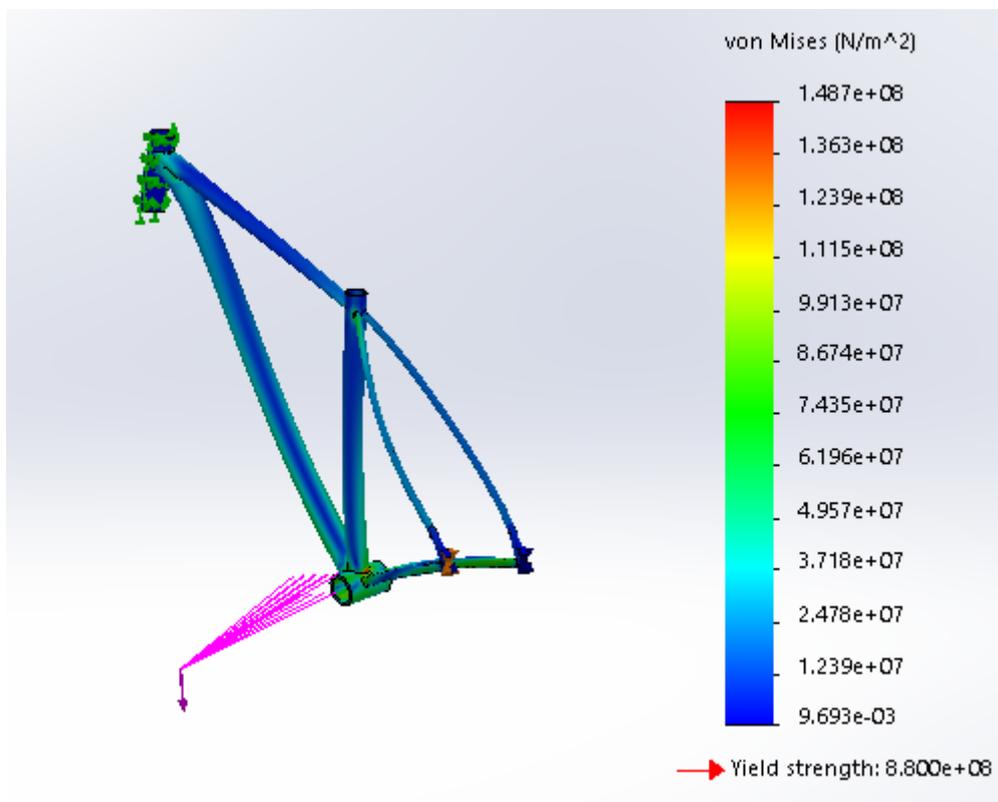


Figura 76. Titanio. Ensayo 3. Tensiones.

IV. Apéndices

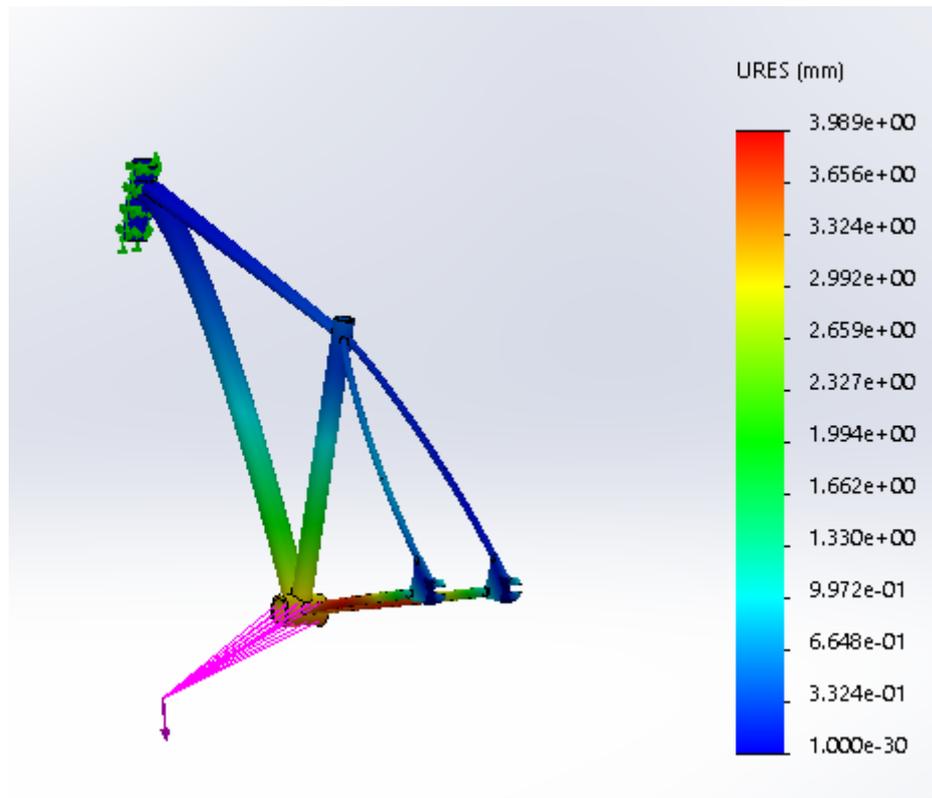


Figura 77. Titanio. Ensayo 3. Deformaciones.

Factor of safety distribution: Min FOS = 4.6

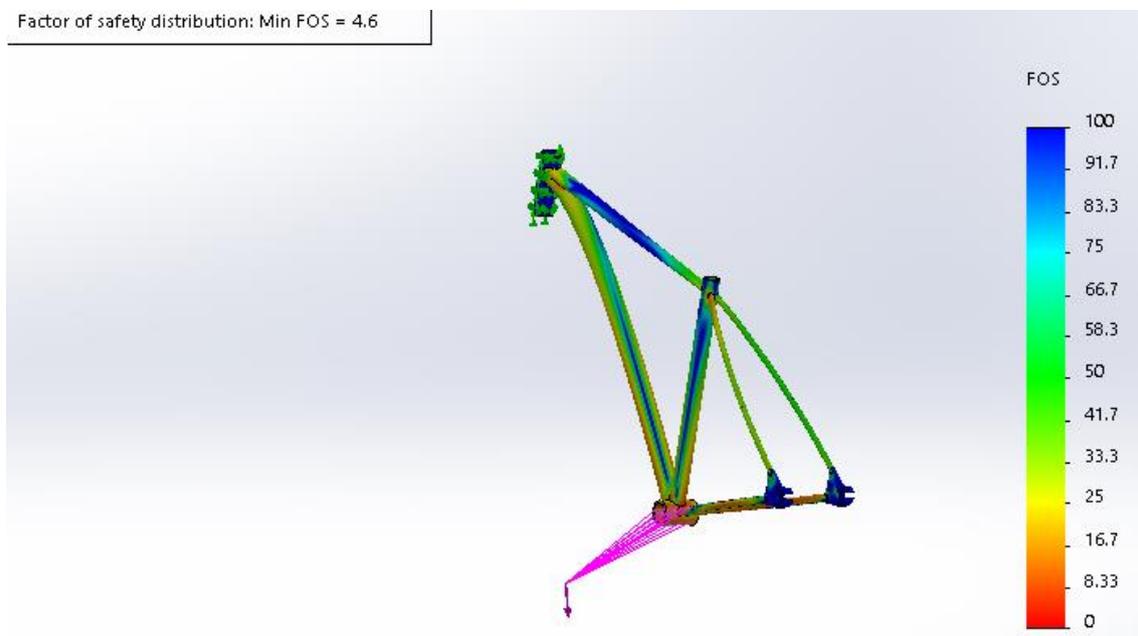


Figura 78. Titanio. Ensayo 3. Factor de Seguridad.

IV. Apéndices

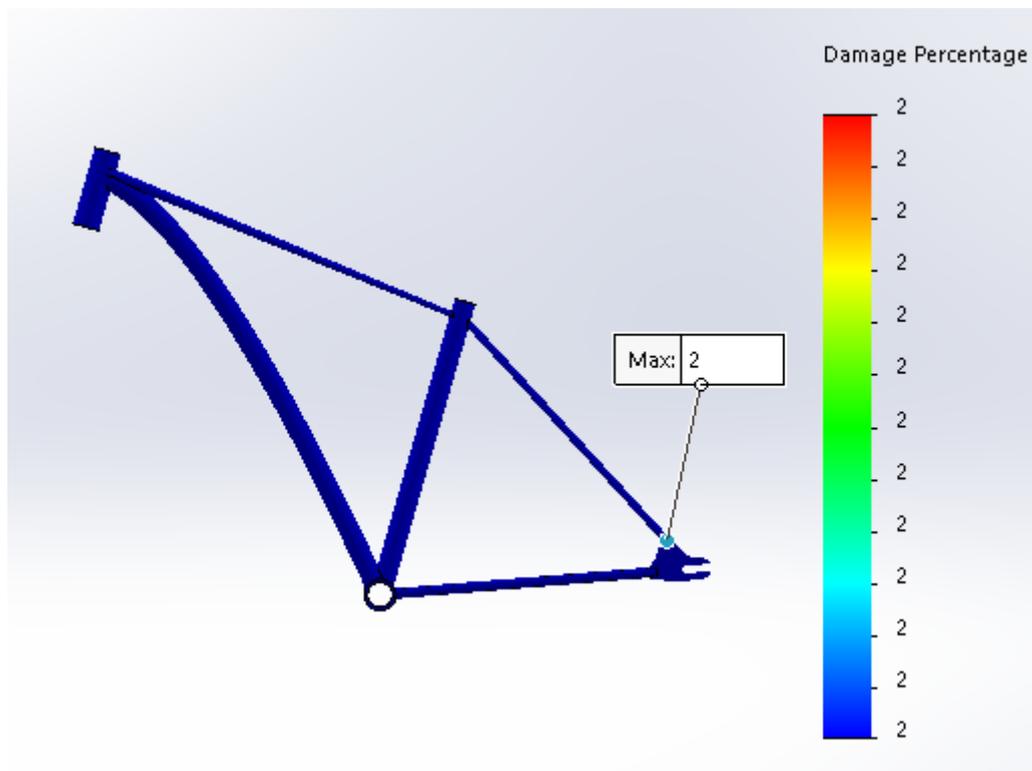


Figura 79. Titanio. Ensayo 3. Daño por Fatiga.

IV. Apéndices

IV.1.4 Fibra de Carbono.

IV.1.4.1 Primer ensayo.

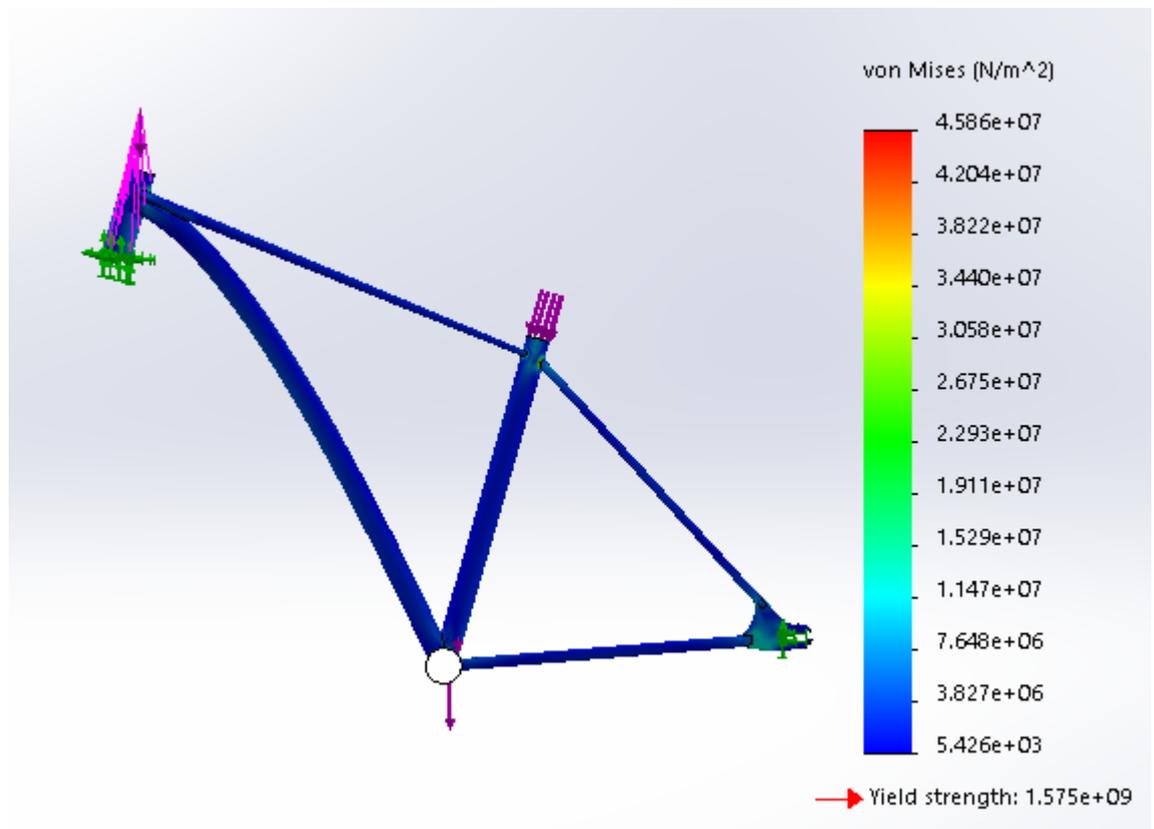


Figura 80. Fibra de carbono. Ensayo 1. Tensiones

IV. Apéndices

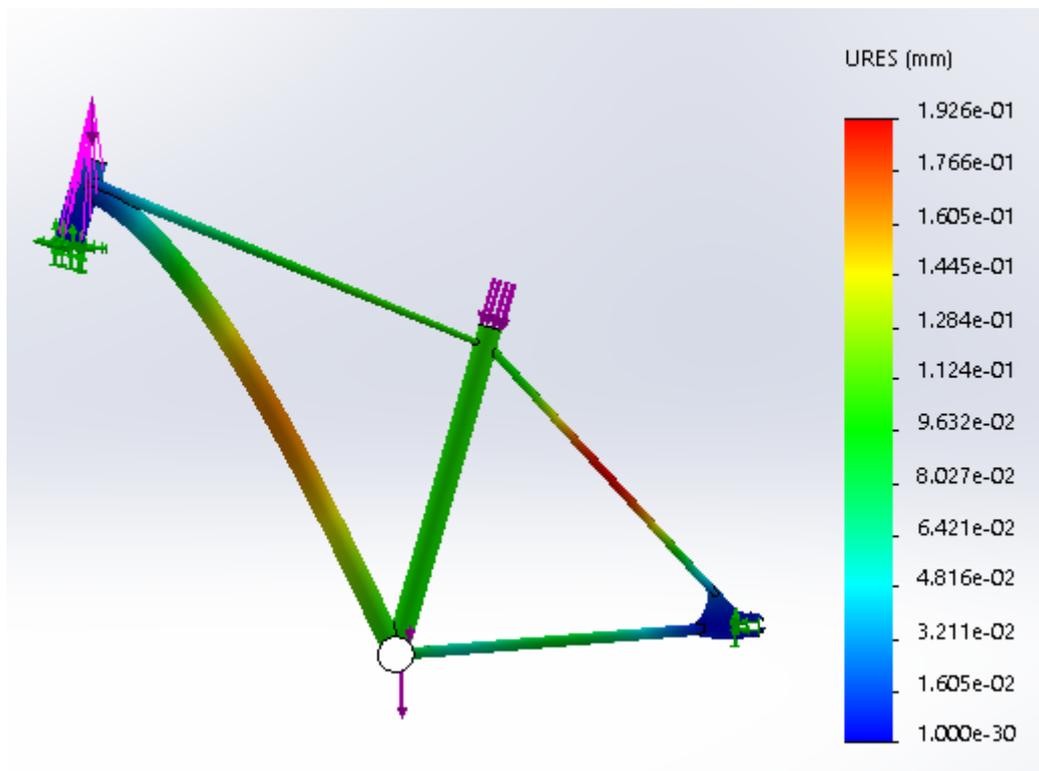


Figura 81. Fibra de carbono. Ensayo 1. Deformaciones

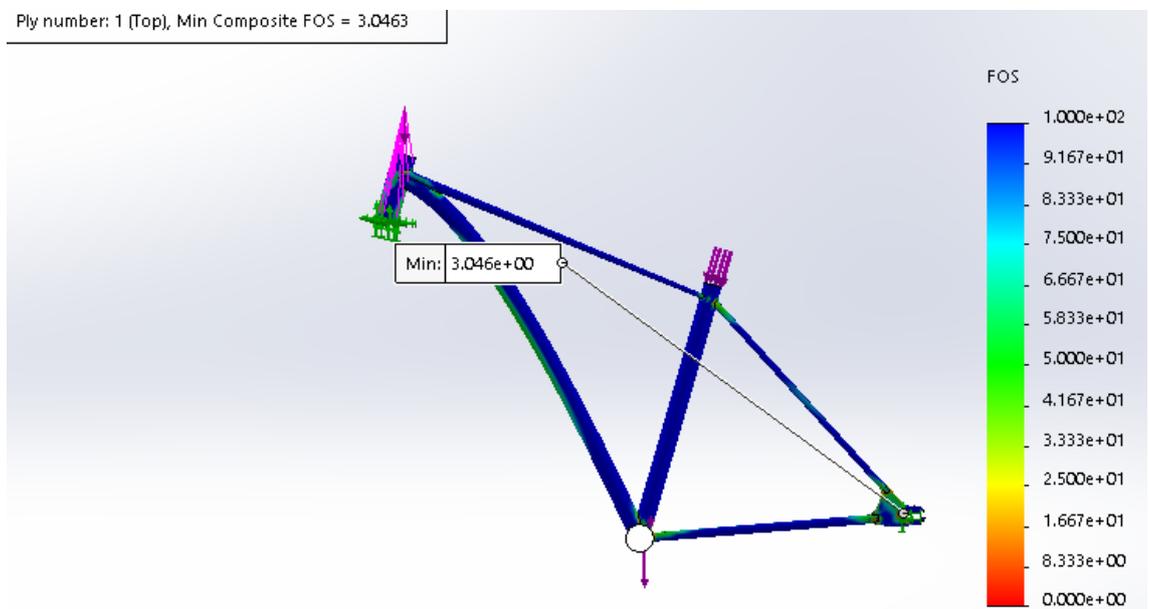


Figura 82. Fibra de carbono. Ensayo 1. Factor de seguridad

IV. Apéndices

IV.1.4.2 Segundo ensayo.

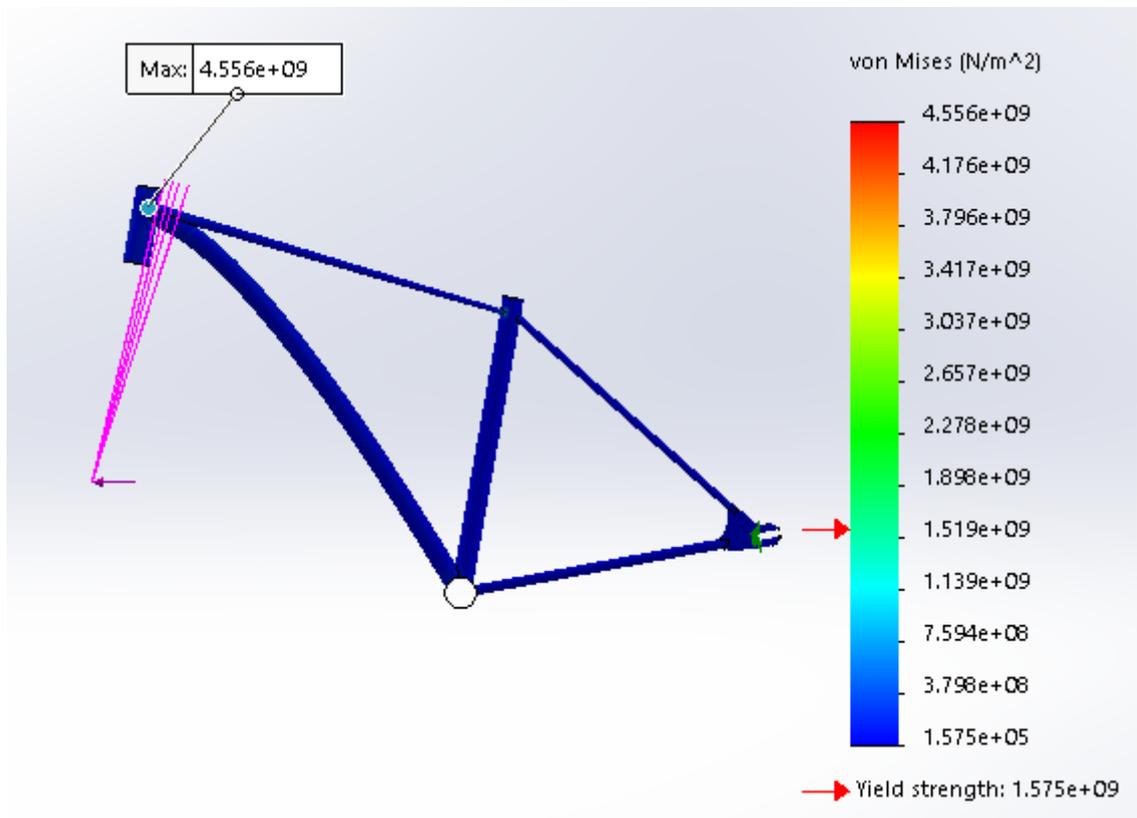


Figura 83. Fibra de carbono. Ensayo 2. Tensiones

IV. Apéndices

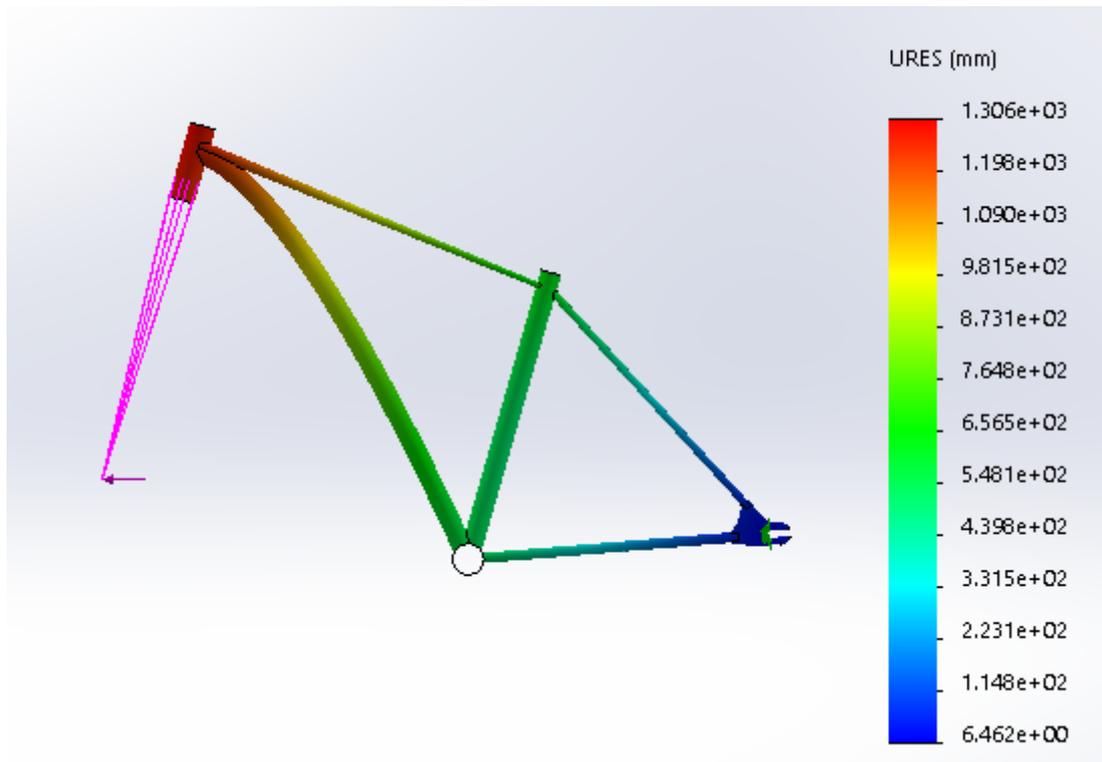


Figura 84. Fibra de carbono. Ensayo 2. Deformaciones

Ply number: 1 (Top), Min Composite FOS = 0.16708

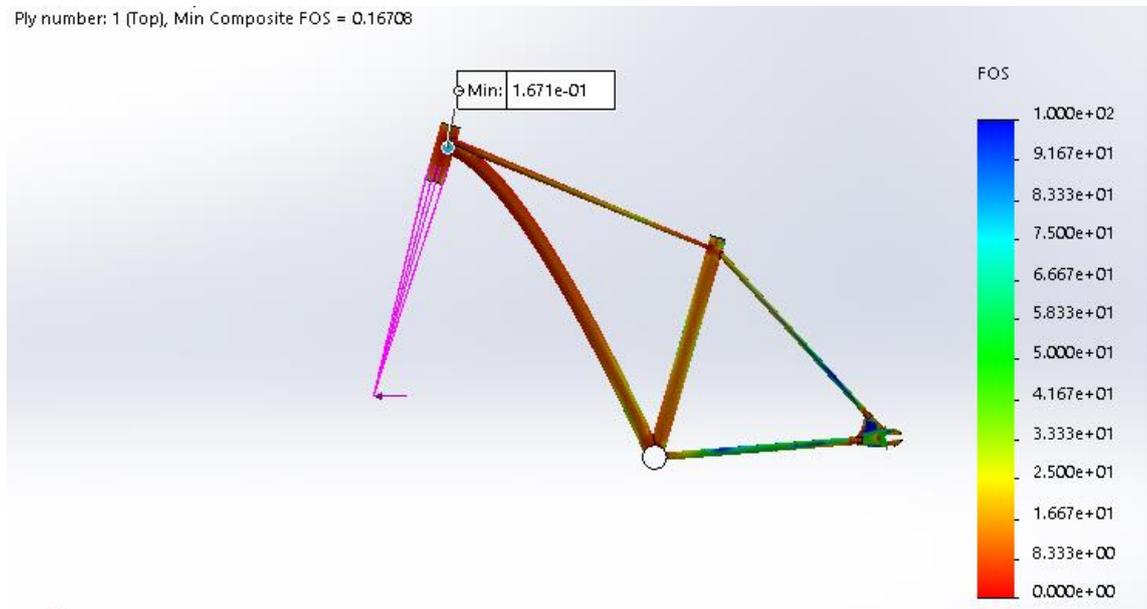


Figura 85. Fibra de carbono. Ensayo 2. Factor de seguridad

IV. Apéndices

IV.1.4.3 Tercer ensayo.

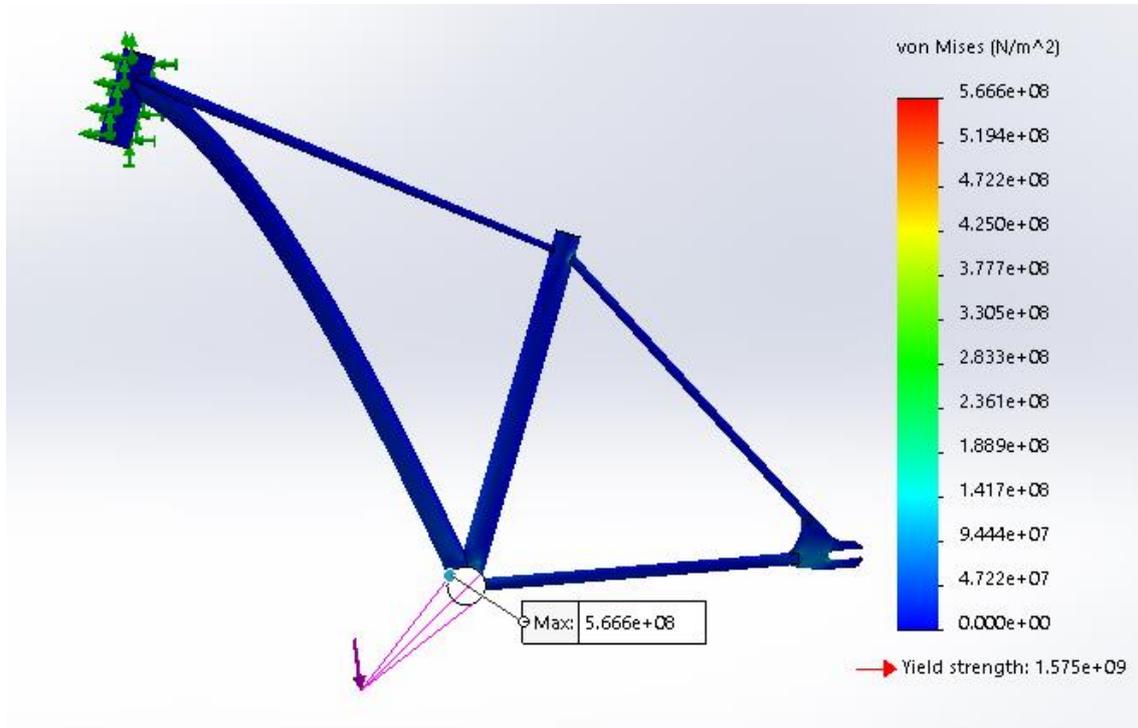


Figura 86. Fibra de carbono. Ensayo 3. Tensiones

IV. Apéndices

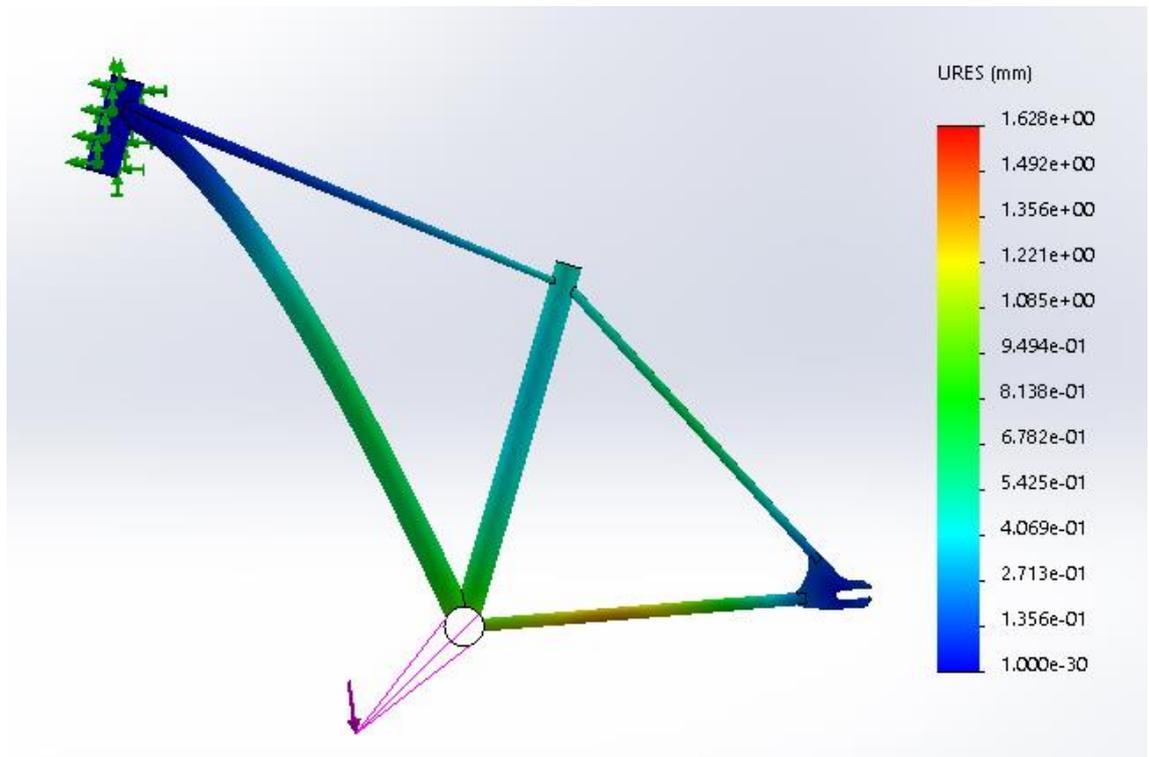


Figura 87. Fibra de carbono. Ensayo 3. Deformaciones

Ply number: 1 (Top), Min Composite FOS = 0.47253

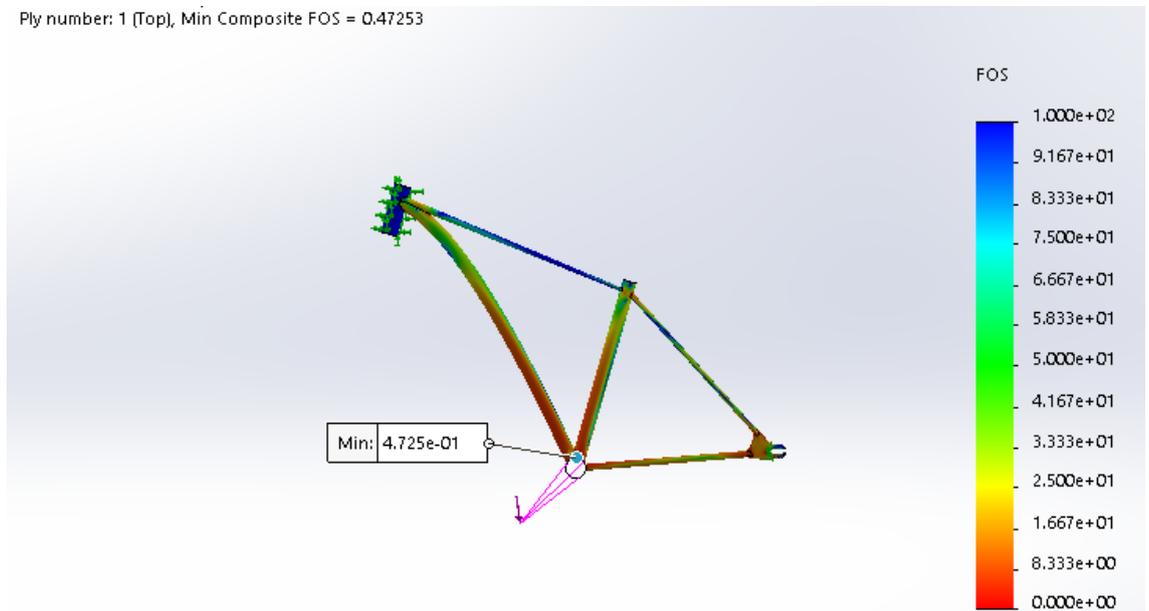


Figura 88. Fibra de carbono. Ensayo 3. Factor de seguridad

IV. Apéndices

IV.2. REFERENCIAS

Atlas of Fatigue Curves - Howard E Boyer/ ASM International

El gran Libro de la Bicicleta - Richard Grant/Richard Ballantine

Ciclos. Requisitos de Seguridad para bicicletas. Parte 6: Métodos de ensayo del cuadro y la horquilla. (ISO 4210-6:2015)

<https://www.fibradecarbono.es/articulos/tipos-de-fibra-de-carbono/>

<https://www.hexcel.com/Resources/DataSheets/Carbon-Fiber>

<https://solobici.es/video-como-fabrican-cuadros-carbono-merida/>

<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/objetos/tutorial46.pdf>

www.madehow.com

<http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=d875685373f14f79b6ed7bf0d9adcab6&ckck=1>