



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

# **DISEÑO Y CÁLCULO DEL CHASIS DE UNA MOTOCICLETA DE CARRETERA**

Autor

**Xavier Gramuntell Magraner**

Tutor

**Juan Francisco Dols Ruiz**

Universidad Politécnica de Valencia  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Grado en Ingeniería Mecánica

Valencia- Septiembre de 2016



# Resumen

---

El presente trabajo fin de grado aborda el diseño y cálculo del chasis basándose en los modelos actuales del mercado de motocicletas. Por un lado, se diseña el chasis a partir de la información obtenida en libros y revistas especializadas, para posteriormente plasmar toda esa información en el programa de diseño asistido 3D utilizado, Solidworks®.

Una vez realizado el diseño final del chasis, se procede al cálculo numérico de los esfuerzos que debe soportar dicho chasis, simulando 3 casos distintos, y obteniendo para cada uno de los casos datos reales que al introducirlos en el programa, nos permitirán conocer, para cada uno de los casos, si el prototipo diseñado será capaz de soportar los esfuerzos.

**Palabras clave:** Diseño asistido, cálculo, esfuerzos, prototipo.



# Agradecimientos

---

*Primero agradecer a Juan Francisco Dols Ruiz por darme la oportunidad de realizar este proyecto y por prestarme la ayuda necesaria para hacerlo posible.*

*Agradecer el apoyo incondicional de mis padres, a mis amigos por los empujones para seguir adelante, pero sobretodo a ti, Rosa, sin ti nada de esto hubiese sido posible.*

*“El fracaso vence a los perdedores,  
el fracaso inspira a los ganadores”*

**Robert T. Kiyosaki**



# Índice general

---

<b>Resumen .....</b>	<b>3</b>
<b>Agradecimientos.....</b>	<b>5</b>
<b>Índice general .....</b>	<b>7</b>
<b>Índice de figuras .....</b>	<b>9</b>
<b>Índice de tablas y gráficos.....</b>	<b>12</b>
<b>1. Introducción .....</b>	<b>14</b>
1.1 Motivación y objetivo.....	14
<b>2. Antecedentes .....</b>	<b>15</b>
2.1 Definición .....	15
2.2 Evolución histórica .....	17
2.3 Tipos de chasis.....	26
2.3.1 Chasis Tubulares.....	26
2.3.2 Chasis de viga .....	30
2.3.3 Chasis con motor estructural.....	33
2.3.4 Chasis monocasco.....	35
2.4 Normativa .....	35
2.5 Materiales .....	36
2.5.1 Acero .....	36
2.5.2 Acero al cromo-molibdeno.....	37
2.5.3 Aluminio .....	37
2.5.4 Titanio.....	37
2.5.5 Fibra de carbono.....	38
2.5.6 Magnesio .....	39
<b>3. Diseño .....</b>	<b>40</b>
3.1 Software utilizado .....	40
3.2 Proceso de diseño de un chasis .....	40
3.3 Modelado del chasis .....	42
3.4 Simulación del Modelo .....	49
3.4.1 Mallado.....	49
3.5 Hipótesis de casos .....	51
3.5.1 Caso aceleración 0-100 Km/h.....	51
3.5.2 Caso frenada de 100-0 Km/h.....	55
3.5.3 Caso paso por curva .....	60
<b>4. Resultados Obtenidos .....</b>	<b>65</b>
4.1 Resultados caso aceleración .....	65
4.2 Resultados caso frenada .....	72
4.3 Resultados caso paso por curva .....	78
<b>5. Conclusiones.....</b>	<b>85</b>
5.1 Caso Aceleración.....	85
5.2 Caso frenada .....	87
5.3 Caso paso por curva.....	89
5.4 Desarrollos de futuro .....	91
<b>6. Bibliografía .....</b>	<b>92</b>

<b>APENDICE I: PLIEGO DE CONDICIONES .....</b>	<b>93</b>
NORMATIVA.....	93
PLANO DEL CHASIS.....	95
PRESUPUESTO .....	96



# Índice de figuras

---

Figura 1 Estructura chasis .....	15
Figura 2 Geometría dirección motocicleta .....	16
Figura 3 Primera motocicleta de la historia.....	18
Figura 4 Motocicleta Hildebrand-Wolfmüller, primera motocicleta fabricada en serie	18
Figura 5 Primera motocicleta marca NSU.....	19
Figura 6 Motocicleta con chasis Scott.....	19
Figura 7 Primera scooter de la historia.....	20
Figura 8 Motocicleta Mars 1920.....	20
Figura 9 Primera BMW en salir al mercado .....	21
Figura 10 Motocicleta Zundapp K800.....	21
Figura 11 Motocicleta Vicent HRD.....	22
Figura 12 Motocicleta Norton Manx.....	22
Figura 13 Chasis Honda .....	23
Figura 14 Primer chasis monocasco OSSA .....	23
Figura 15 Motocicleta Norton Challenge .....	24
Figura 16 Chasis Cobas y Yamaha Deltabox.....	25
Figura 17 Chasis Yamaha GTS .....	25
Figura 18 Chasis Deltabox Yamaha R1 2016 .....	26
Figura 19 Chasis scooter cuna simple.....	27
Figura 20 Chasis cuna simple interrumpido y chasis cuna simple desdoblado .....	27
Figura 21 Chasis doble cuna.....	28
Figura 22 Motocicleta Transformers Moto2.....	29
Figura 23 Chasis Yamaha MT 07 .....	29
Figura 24 Chasis multitubular Ducati.....	30
Figura 25 Chasis viga Ariel Leader.....	31
Figura 26 Chasis monoviga Triumph Trophy 900 .....	31
Figura 27 Chasis Cobas.....	32
Figura 28 Imagen del Ramair en un chasis Cobas actual.....	33
Figura 29 Bmw HP2 con motor estructural .....	33
Figura 30 Ducati GP09 de MotoGP .....	34
Figura 31 Proyecto MotoGP Cobas.....	34
Figura 32 NR 500 y Vespa con chasis monocasco .....	35
Figura 33 Modelo CAD de una motocicleta.....	40
Figura 34 Modelos CAD de diferentes chasis.....	41
Figura 35 Chasis simulado mediante MEF.....	42
Figura 36 Fabricación del diseño CAD a la realidad .....	42
Figura 37 Vista presentación chasis .....	43
Figura 38 Diferentes vistas del chasis I.....	44
Figura 39 Diferentes vistas chasis II.....	45
Figura 40 Diferentes vistas chasis III .....	45
Figura 41 Vistas detalle pipa dirección .....	46
Figura 42 Vistas detalle anclajes suspensión, basculante y motor.....	46
Figura 43 Vista detalle soporte piloto.....	47
Figura 44 Vista líneas ocultas chasis .....	48
Figura 45 Vista transparente del chasis.....	48

Figura 46 Vista mallado frontal .....	50
Figura 47 Vista mallado 3D .....	50
Figura 48 Detalle de la adaptación del mallado.....	50
Figura 49 Fuerzas Tren trasasero.....	52
Figura 50 Resumen fuerzas entrada chasis caso aceleración.....	53
Figura 51 Vista frontal fuerzas aceleración.....	54
Figura 52 Vista fuerzas aceleración.....	54
Figura 53 Vista detalle fuerzas suspensión y peso piloto .....	55
Figura 54 Geometría tren delantero.....	56
Figura 55 Fuerza y momentos en el tren delantero.....	57
Figura 56 Resumen fuerzas entrada chasis caso frenada .....	58
Figura 57 Vista frontal fuerzas frenada.....	58
Figura 58 Vista isométrica fuerzas frenada.....	59
Figura 59 Vista detalle Momento frenada.....	59
Figura 60 Fuerza tren trasero paso por curva .....	61
Figura 61 Fuerzas tren delantero paso por curva .....	61
Figura 62 Fuerzas y momentos tren delantero paso por curva .....	62
Figura 63 Vista frontal fuerza paso por curva.....	63
Figura 64 Vista isométrica paso por curva .....	64
Figura 65 Detalle fuerzas pipa dirección y parte superior chasis paso por curva ..	64
Figura 66 Nodo de máxima tensión aceleración .....	65
Figura 67 Vista frontal de las tensiones durante la aceleración.....	66
Figura 68 Vista isométrica de las tensiones durante la aceleración.....	66
Figura 69 Vista frontal y trasera de las tensiones durante la aceleración .....	67
Figura 70 Nodo de máximo desplazamiento aceleración.....	67
Figura 71 Vista frontal de los desplazamientos máximos aceleración.....	68
Figura 72 Vista trimétrica de los desplazamientos máximos aceleración .....	68
Figura 73 Vistas derecha e izquierda de los desplazamientos máximos aceleración .....	69
Figura 74 Nodo de máxima deformación unitaria aceleración.....	69
Figura 75 Vista frontal de las deformaciones unitarias aceleración .....	70
Figura 76 Vista isométrica de las deformaciones unitarias aceleración.....	70
Figura 77 Vistas superior e inferior de las deformaciones unitarias aceleración ...	71
Figura 78 Nodo de máxima tensión frenada.....	72
Figura 79 Vista frontal tensiones máximas en frenada .....	73
Figura 80 Vista isométrica de las tensiones máximas en frenada .....	73
Figura 81 Vista delantera y trasera de las tensiones máximas en frenada.....	74
Figura 82 Nodo de desplazamiento máximo en frenada .....	74
Figura 83 Vista frontal desplazamientos en frenada.....	75
Figura 84 Vista isométrica desplazamientos en frenada.....	75
Figura 85 Vista superior e inferior desplazamientos en frenada .....	76
Figura 86 Nodo de máxima deformación unitaria en frenada .....	76
Figura 87 Vista frontal deformaciones unitarias en frenada .....	77
Figura 88 Vista isométrica deformaciones unitarias en frenada .....	77
Figura 89 Vista inferior y superior deformaciones unitarias en frenada.....	78
Figura 90 Nodo de máxima tensión en paso por curva.....	78
Figura 91 Vista frontal tensiones máximas en paso por curva .....	79
Figura 92 Vista dimétrica tensiones máximas en paso por curva .....	79
Figura 93 Vistas delantera y trasera tensiones máximas en paso por curva.....	80

Figura 94	Nodo de máximo desplazamiento en paso por curva .....	80
Figura 95	Vista frontal desplazamientos en paso por curva.....	81
Figura 96	Vista dimétrica desplazamientos en paso por curva.....	81
Figura 97	Vistas superior e inferior desplazamientos en paso por curva .....	82
Figura 98	Nodo de máxima deformación unitaria en paso por curva .....	82
Figura 99	Vista frontal deformaciones unitarias en paso por curva .....	83
Figura 100	Vista dímétrica deformaciones unitarias en paso por curva.....	83
Figura 101	Vistas delantera y trasera desplazamientos unitarios en paso por curva .....	84
Figura 102	Nodo FDS mínimo aceleración .....	85
Figura 103	Nodo de máximo FDS en aceleración .....	86
Figura 104	Vista superior e inferior FDS en aceleración.....	86
Figura 105	Nodo de mínimo FDS en frenada.....	87
Figura 106	Nodo de mínimo FDS en frenada.....	88
Figura 107	Vistas superior e inferior del FDS en frenada.....	88
Figura 108	Nodo de mínimo FDS en paso por curva.....	89
Figura 109	Nodo de máximo FDS en paso por curva .....	89
Figura 110	Vistas superior e inferior del FDS en paso por curva .....	90

# Índice de tablas y gráficos

---

## TABLAS

Tabla 1 Propiedades diferentes materiales.....	39
Tabla 2 Propiedades aluminio 6061 T6.....	44
Tabla 3 Resumen de resultados.....	90

## GRÁFICOS

Gráfico 1 Diagrama de barras de fuerza G en frenada .....	56
Gráfico 2 Curvas para determinar el radio de curvatura.....	60
Gráfico 3 Curva para determinar la aceleración centrífuga .....	60



# 1. Introducción

---

## 1.1 Motivación y objetivo

En la actualidad, el mundo del motociclismo se mantiene en un continuo proceso de evolución, los fabricantes invierten mucho dinero en departamentos de investigación, en laboratorios de pruebas, en mejorar los materiales utilizados en la fabricación, con el único objetivo de sacar al mercado la mejor motocicleta del momento. Y ahí es cuando aparece el tema de este proyecto, el diseño del chasis es fundamental a la hora de buscar una mejora de maniobrabilidad, de reducción de peso, de estabilidad... Si esto se enfoca desde el ámbito del diseño estructural, se encuentra un compromiso entre dos factores fundamentales. Por un lado el chasis ha de ser dentro de las posibilidades lo más ligero posible, además debe satisfacer gran cantidad de especificaciones aerodinámicas como pueden ser la posición del piloto, la entrada de aire o la distancia entre ejes. Por otro lado, el chasis debe ser muy resistente para garantizar la seguridad ante las grandes cargas a las que se ve sometida, hay que tener en cuenta que se trata de un vehículo que circula a 250 km/h sobre dos ruedas, por tanto no hay cabida a que el chasis se pueda deformar ante esfuerzos.

Por esto se buscan continuamente evoluciones en el chasis que permitan mejorar la geometría de la moto, la posición del piloto, el avance o la estabilidad. Todas estas evoluciones tienen un único objetivo, buscar una motocicleta con mejores prestaciones de velocidad y aceleración, y de otro lado, disminuir su consumo para obtener una motocicleta con mayor autonomía. Todo esto sin olvidar la seguridad, punto clave en cualquier proyecto de fabricación.

Por todo lo anterior, el diseño de un chasis ha resultado ser todo un reto, debido a que se trata de la columna vertebral de la motocicleta y es el responsable de recibir todos los esfuerzos tanto internos como externos, por lo que un fallo en el diseño puede resultar un peligro para la persona que pilote dicha motocicleta. Además tiene que cumplir con la normativa vigente para que se pueda homologar y poder en un futuro pensar en fabricar el chasis.

Por tanto, el objetivo fundamental del presente proyecto es la aprobación por parte del jurado de la obtención del título de Graduado de Ingeniería Mecánica, realizado en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño. Quedando patente en este proyecto todos los conocimientos y aptitudes adquiridas durante el transcurso de la carrera, están visibles en el presente documento.

## 2. Antecedentes

### 2.1 Definición

El chasis o bastidor de la motocicleta es la estructura que sujeta tanto los componentes mecánicos, como el grupo motor y la suspensión de las ruedas, incluyendo la carrocería si fuera el caso.

Aporta rigidez y forma a la motocicleta. Además sostiene varias partes mecánicas como el motor, la suspensión, el sistema de escape y el sistema de dirección. El chasis es considerado como el componente más significativo de una motocicleta, ya que es el componente que aporta fortaleza y estabilidad en diferentes condiciones.

Existe multitud de tipos de chasis, como simple, doble cuna, doble viga, multitubular, monocasco, etc. Y de diferentes materiales como acero y aluminio o con procesos más costosos de titanio, fibra de carbono o magnesio. Posteriormente veremos más detalladamente los diferentes tipos, pero para hacernos una idea de la estructura de un chasis, independientemente del tipo de material o forma que se haya seleccionado, los componentes fundamentales son los siguientes:

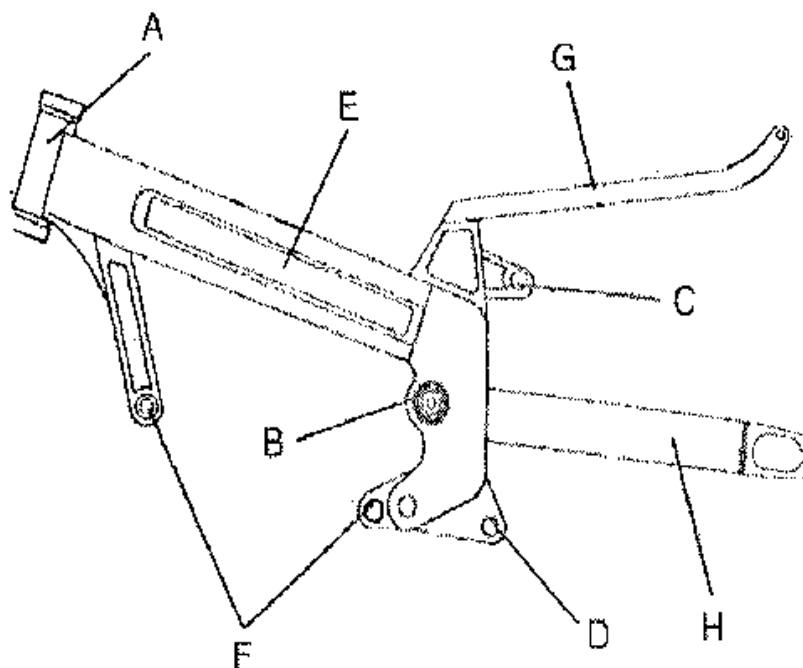


Figura 1 Estructura chasis

Como se puede observar en la figura 1, en la parte delantera tenemos la tija (A) zona de anclaje de la horquilla delantera que al ser esta, habitualmente una horquilla telescópica, es un eje que se denomina “pipa de dirección”. Por la propia estructura de la horquilla

este punto se sitúa en la parte delantera, en la parte más alta del chasis. En el lado contrario encontraríamos en tren trasero (B) que junto con los anclajes para la suspensión trasera (C) y (D), este ultimo dependiendo del tipo de suspensión podría no estar presente, son los encargados de que el basculante (H) sujete la rueda trasera y reciba los impactos provocados por el firme. Es conveniente que tanto el tren delantero como el trasero sean suficientemente rígidas ya que es donde se sufren las mayores cargas.

Por otro lado, dependiendo del tipo de motor, aparecen las diferentes sujeciones de éste, (F) y (E) pudiéndose dar que alguna de ellas no este, o se combinen ambas. Estas sujeciones son parte importante del chasis ya que van a recibir grandes vibraciones desde el motor. En (E) también podemos encontrar la zona de anclaje del depósito de gasolina.

Por último encontramos (G) que donde se situará el piloto, por tanto recibirá el peso de éste. La tendencia actual es que esta zona se encuentre independiente del cuerpo del chasis, un subchasis atornillado que permita variar su posición.

El basculante es una pieza importante de la estructura de la moto, y que se puede incluir como parte del chasis o no. Hay que dejar claro que en el presente proyecto no incluiremos ni el subchasis y ni el basculante en el alcance del modelado y análisis del chasis, objeto de este documento.

La rigidez y la geometría de una motocicleta son fundamentales para su estabilidad. La rigidez es un término que va muy unido a la potencia del motor y de las prestaciones dinámicas de ésta. La geometría de una motocicleta es un aspecto tan amplio que será mejor definir unos cuantos conceptos con la ayuda de la figura 2, para su mejor comprensión:

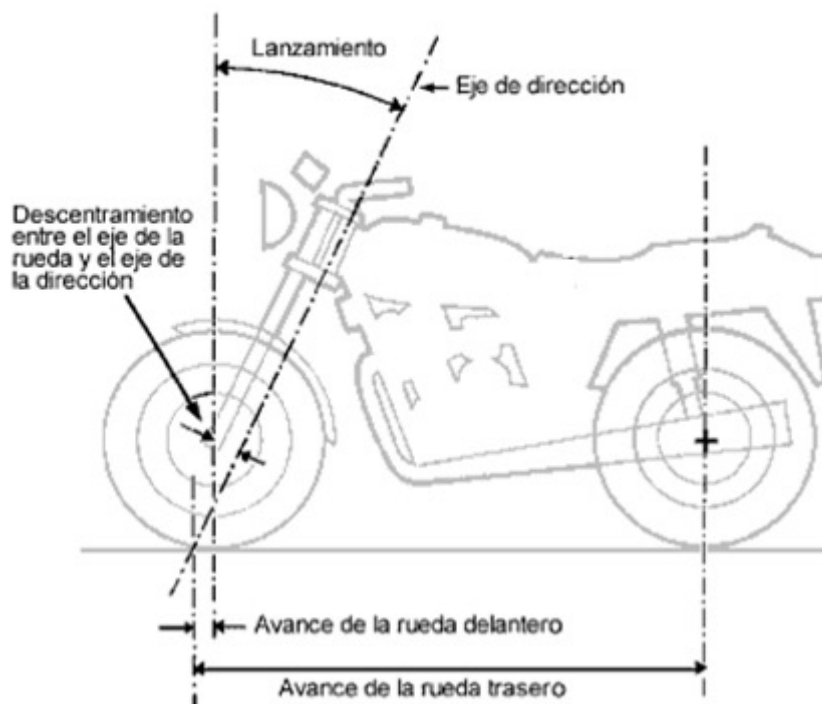


Figura 2 Geometría dirección motocicleta



Partiendo de la base que eje dirección es la línea que pasa por la pipa de dirección del chasis y sobre la que el conductor gira el manillar para cambiar de dirección, encontraremos:

**Avance:** Se conoce como la distancia que existe entre la línea que pasa por eje de dirección y corta con el suelo, y el centro de la huella de contacto que deja el neumático, medida a ras de suelo. Se puede observar que tanto el neumático delantero como el trasero tienen su propio avance. La función principal del avance es proporcionar una cierta estabilidad direccional, y también es de gran importancia en el inicio de la fase de inclinación de la moto al tomar una curva.

**Lanzamiento:** Conocido también como inclinación del ángulo de dirección, se trata de la inclinación del eje de dirección hacia atrás con la vertical del eje de la rueda.

**Horquilla de dirección:** La horquilla de dirección va unida al eje de dirección del chasis a través de dos puentes formando lo denominado como tija, que proporciona una posición adelantada a la horquilla respecto de la dirección.

**Distancia entre ejes:** Se trata de la distancia que hay entre el eje de la rueda trasera y el eje de la rueda delantera. En general, cuanto mayor es esta distancia mayor es la estabilidad direccional y mayor es el esfuerzo necesario para negociar una curva.

Cuanto mayor es el avance más estable es la moto en recta y más difícil en las curvas, siendo las motocicletas con un carácter deportivo las que suelen tener avances y lanzamientos menores para ser más rápidas y efectivas en zonas de curvas, penalizando por esa geometría bastante en las rectas, cuando el tren delantero se vuelve algo inestable o nervioso. En el caso opuesto nos encontramos las motocicletas con un carácter más relajado, como pueden ser las tipo custom, que utilizan una geometría con un avance en muchos casos enorme y con avanzadas horquillas. Estas últimas, además de ser muy avanzadas las encontramos con unas distancias muy largas para proporcionar una gran estabilidad en línea recta, pero muy penalizada a la hora de abordar curvas y en general en una conducción más deportiva.

## 2.2 Evolución histórica

La motocicleta fue inventada en Alemania por los inventores Gottlieb Daimler y Wilhelm Maybach en el año 1885, con el nombre de Ridding Car. Como se puede observar en la figura 3, estaba dotada de un chasis de doble viga (muy común su uso aún en la actualidad). El cuadro de la moto era de madera, tenía un motor 4T de 264 centímetros cúbicos (un solo cilindro) montado sobre bloques de goma. La potencia de la Ridding Car era de 1/2 CV (0,37 kW) a 600 RPM y la velocidad máxima es de unos 11 km/h. Poseía dos ruedas de madera con la banda de rodadura de hierro y un par de ruedas estabilizadoras de resorte diseñadas para ayudar a que permanezca en posición vertical.



Figura 3 Primera motocicleta de la historia

En 1894 los alemanes **Hildebrand y Wolfmüller** presentan en Múnich la primera motocicleta fabricada en serie, la cual obviamente tenía fines comerciales específicos. Estas motocicletas propiedad de Hildebrand y Wolfmüller se estuvieron produciendo hasta el año 1897.



Figura 4 Motocicleta Hildebrand-Wolfmüller, primera motocicleta fabricada en serie

Se puede observar en fotografía que la motocicleta de Hildebrand y Wolfmüller estaba dotada con un chasis de tipo tubular de simple cuna, que permitía que la parte superior quedara muy espaciosa para las piernas del piloto, muy semejante a la forma que adoptan los chasis actuales de los motocicletas tipo scooter.

Un poco más tarde en 1901, aparecería la motocicleta de la casa NSU, cuyo propietario Christian Schmidt que hasta ese momento se había dedicado al mundo de la bicicletas y posteriormente a suministrar chasis, a los ya famosos por aquel entonces, Daimler y Maybach, se lanzaba a fabricar su propia motocicleta usando su propio bastidor.



Figura 5 Primera motocicleta marca NSU

En 1909 saldría al mercado un nuevo tipo de chasis, denominado Scott en referencia a la casa que lo fabrico Scott Motorcycle Company. Se trataba de un bastidor “A” abierto en la parte superior, con suspensión delantera “B”, y en el que el motor “D” forma parte directa de la rigidez del conjunto. La rueda trasera todavía mantiene un anclaje fijo “C”.

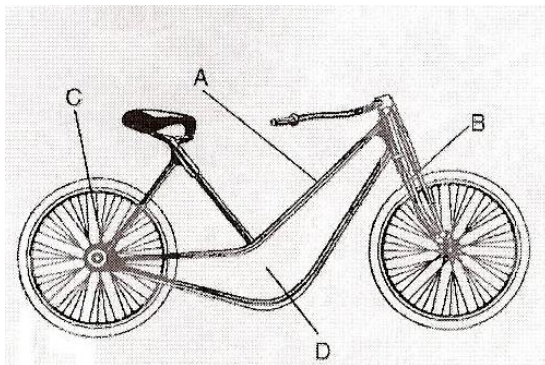


Figura 6 Motocicleta con chasis Scott

Con la llegada de 1910, se presenta un nuevo concepto de chasis marcaría un antes y un después el mundo de las motocicletas, llegaría al mercado “el auto-sillón” más conocido actualmente como Scooter. La idea de este chasis fue concebida en 1902 por el francés George Gautier, pero no se llevó a cabo la idea hasta 1910, con la presentación de la Auto-Fauteuil.



Figura 7 Primera scooter de la historia

En 1920 llega al mercado el chasis Mars, que aportaba una nueva visión del chasis, en la que podemos observar un tubo de gran diámetro (A) que une el eje de la rueda trasera (B) con el eje de dirección delantero (C). Los guardabarros en esa época toman gran importancia como podemos comprobar en las imágenes siguientes.

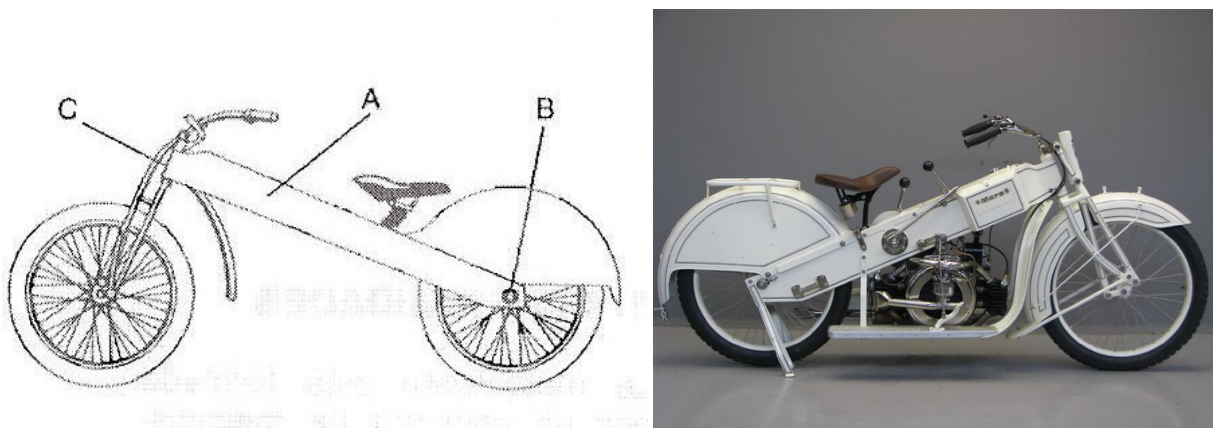


Figura 8 Motocicleta Mars 1920

En 1923 se lanzaba la primera motocicleta fabricada por BMW, se trataba de la R32. Una moto que no aporta grandes novedades en lo que a chasis se refiere (B) pero si introduce un concepto que hasta la actualidad sigue en práctica, el motor como parte del chasis (C). La moto en su momento era todo un prodigio, que con 494 cc era capaz de alcanzar los 97 km/h gracias a los 8,5 CV y sus 123 kg en orden de marcha. No había transmisión por cadenas entre el motor y la caja de cambios, y no había cadenas ni bandas hacia la rueda trasera (A). Las varillas y los resortes de las válvulas fueron sellados en la parte superior de los cilindros, aislándolos de aceite y polvo. En conjunción con un sistema sellado de lubricante, esto sirvió para tener una moto limpia y facilitó el mantenimiento en todo momento.



Figura 9 Primera BMW en salir al mercado

Con la llegada del chasis Zundapp en 1934 se mantiene la línea seguida hasta el momento, pero la mejora en la calidad de los materiales y en los procesos de fabricación proporcionan una gran evolución en cuanto a reducción de peso y resistencia de los materiales. Se continúa con la idea del bastidor envolviendo el motor, y conectando con el eje de la rueda trasera.

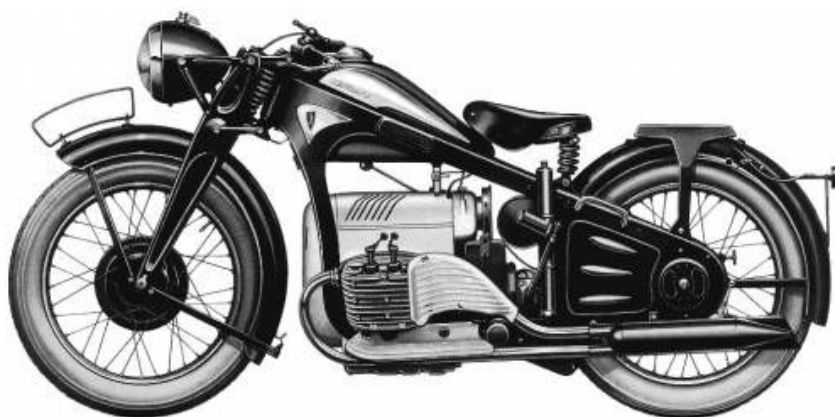


Figura 10 Motocicleta Zundapp K800

En esta década de los 30 se empiezan a dar a conocer la suspensión trasera pero aún no está muy implantada en el mundo de las motocicletas. Hasta que en 1939, Vincent HRD Rapad, lanza al mercado un chasis tan exclusivo como la suspensión que utiliza. Se trataba de un bastidor superior (A) unido al eje de dirección delantera por su parte frontal, donde encontramos la suspensión delantera. Y por la parte trasera, se une a la suspensión trasera hasta el eje trasero, que éste a través de un tirante (C) se une al motor (B) para que éste forme parte rígida del chasis. Este chasis fue una revolución en el mundo del motociclismo, aportando gran ligereza y rigidez.

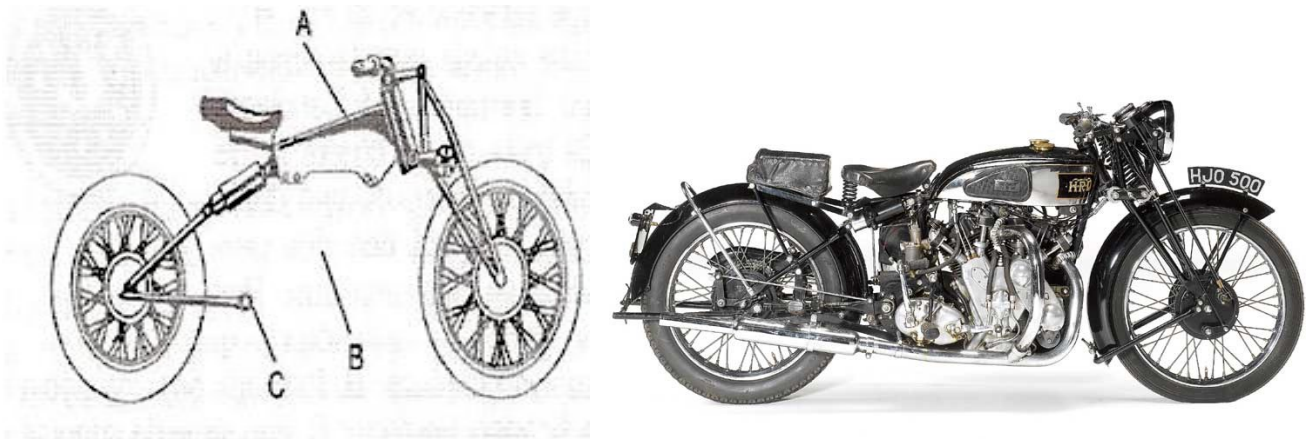


Figura 11 Motocicleta Vicent HRD

En 1950 llega al mercado uno de los chasis que revolucionaría el mundo de la competición, el chasis Norton Manx. Este chasis se hizo famoso por su gran ligereza y rigidez que le proporcionaban las grandes soldaduras hechas por Rex McCandless, que aplicó sus conocimientos adquiridos como soldador en la segunda guerra mundial mientras trabajaba en la fabrica Short Aircraft. Un chasis consistente en una doble cuna de tubos soldados entre sí, que unían la pipa de la dirección con la articulación del basculante trasero y albergaba el motor en su interior. Se hizo tan famoso que lo apodaron “Featherbed”(literalmente “lecho de plumas”).



Figura 12 Motocicleta Norton Manx

La potencia final, a pesar de la gasolina de 80 octanos que se utilizaba en la época era de 40 CV, lo que permitía a la Norton Manx M30 alcanzar los 218 km/h. El peso del conjunto eran tan sólo 136 kg y se apoyaba en unas ruedas de medida 3,00x18 pulgadas delante y 3,5x18 pulgadas detrás.

Tras el paso del chasis Norton que no utilizaba el motor como parte estructural del chasis, en 1963 la llegada de Honda al mercado vuelve a utilizar este sistema con CR72. El chasis "A" no es una estructura cerrada, sorteando por la parte superior al motor pero mantiene en su estructura tanto el anclaje de la suspensión delantera "B", como el de la trasera, adoptando sin variaciones las suspensiones de los últimos años en la mayoría de las motos, la horquilla delantera "C" y el basculante trasero "D".

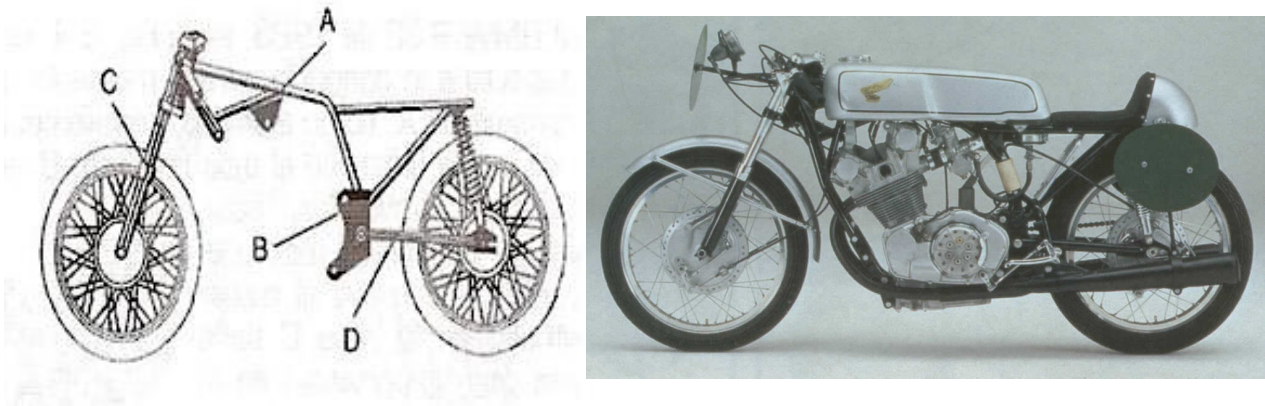


Figura 13 Chasis Honda

En 1960, llega un nuevo concepto de chasis, y es que OSSA crea un chasis en el que el depósito de gasolina va incluido en la zona media. Estaba compuesto por una estructura cerrada, en la que el motor estaba sujeto a unos anclaje en el aire, formando un chasis conocido como "monocasco". En él se dejaba de utilizar como material el acero para utilizar una aleación de magnesio, que ofrecía una gran ligereza respecto al acero.

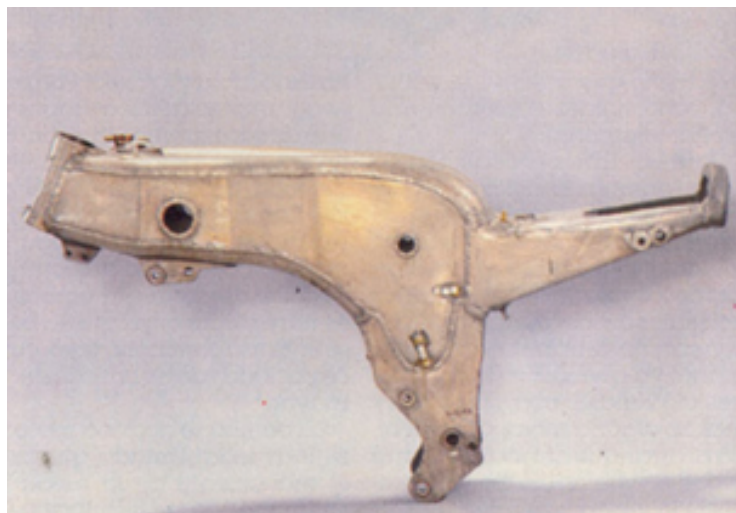


Figura 14 Primer chasis monocasco OSSA

Con la llegada del chasis Norton challenge, llegaba al mercado un tipo de chasis que se sigue utilizando en la actualidad por grandes marcas como puede ser DUCATI o KTM. Se trata del chasis multitubular, sujeta el motor por la parte superior con numerosos tubos de sección recta, de modo que los tubos no trabajen a esfuerzos de flexión.

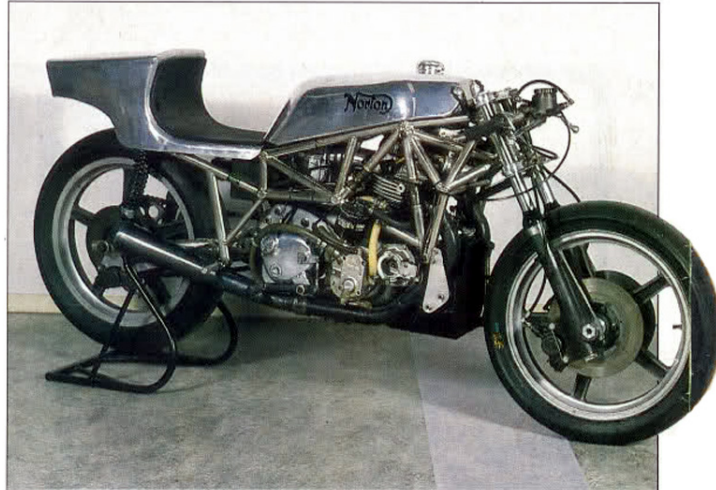


Figura 15 Motocicleta Norton Challenge

De esta forma, se aumenta de manera considerable la rigidez de la estructura, sin que ello represente un mayor peso. Esta estructura presenta una clara complicidad y aumento de coste, pero, hasta la llegada de los siguientes bastidores, se consideraba como la mejor para las motocicletas de altas prestaciones.

Con la llegada de los 80, aparece en el mercado un español que revolucionaría el mundo del motociclismo, Antonio Cobas su chasis marcarían un antes y un después, de tal forma que posteriormente YAMAHA utilizaría el concepto de “Cobas” para su famoso chasis “Deltabox” muy utilizado en la actualidad y en el cual este proyecto se basa.

Se trata de un chasis que abraza el motor por todos sus lados, y que va desde la tija hasta los anclajes del basculante, pasando por la zona intermedia donde encontramos los anclajes del subchasis donde recaerá el peso del piloto, y las sujeciones donde se fija la suspensión trasera. Con una aleación ligera se forma una estructura “A” que une directamente la pipa de dirección de la suspensión delantera “B” con el eje del basculante trasero “C” consiguiendo una estructura muy rígida y a la vez ligera y a la vez sencilla de fabricar. Desde su lanzamiento, los bastidores han evolucionado siguiendo la línea de esta estructura, primero engrandando las secciones superiores de sus cunas y, finalmente, eliminando las secciones inferiores o manteniéndolas como soportes del motor únicamente.



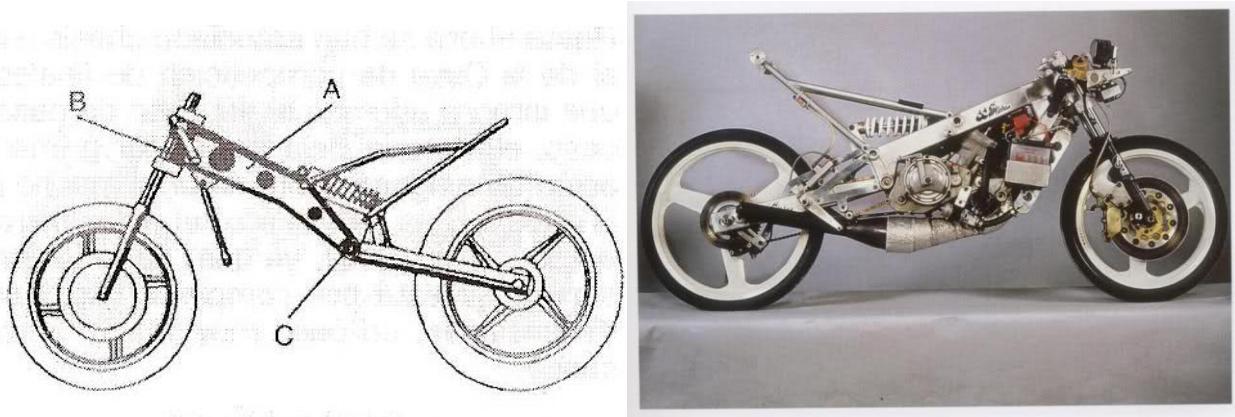


Figura 16 Chasis Cobas y Yamaha Deltabox

En los 90, Yamaha lanza al mercado una novedosa motocicleta la GTS1000, que posee un chasis nunca antes visto y que suponía un avance tecnológico. En este caso, al haberse obviado la clásica suspensión delantera por horquilla en favor de un nuevo sistema de brazo oscilante (“A”) el bastidor no necesita comenzar en la parte superior, y forma una estructura “B” que abraza al motor, uniendo los puntos de anclaje de las dos suspensiones delantera y trasera, “C” y “D” respectivamente, también mediante gruesas vigas de aleación ligera.

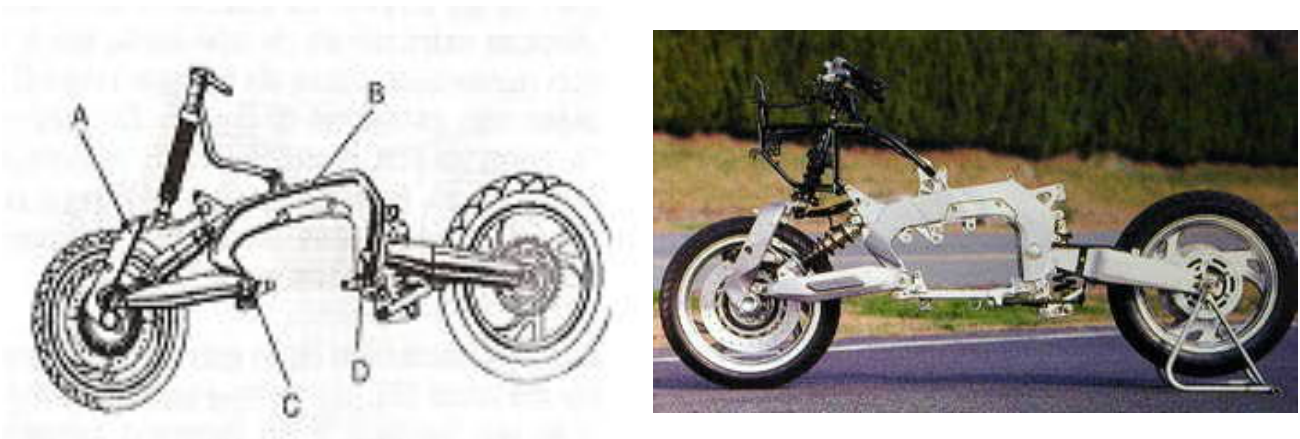


Figura 17 Chasis Yamaha GTS

Aunque fue un cambio radical de lo visto hasta ese momento, no tuvo una gran aceptación y la tendencia del mercado siguió la línea marcada por Antonio Cobas. Esto refleja la importancia de Cobas en el mundo de motociclismo, y que aún en la actualidad se puede comprobar en la siguiente figura, con el último lanzamiento de la Yamaha R1 2016 que sigue la línea del chasis Deltabox.



Figura 18 Chasis Deltabox Yamaha R1 2016

## 2.3 Tipos de chasis

### 2.3.1 Chasis Tubulares

Se conoce a este tipo de chasis a aquellos que están formados por tubos de acero o aluminio de distinta longitud y que están unidos mediante soldadura o pegamento de alta resistencia, formando una estructura sólida y rígida alrededor del motor.

La gran ventaja de este tipo de chasis es su rigidez y su poco peso, ya que el uso de acero o aluminio en la actualidad le confieren un bajo peso. La disposición de los tubos de forma geométrica dotan de gran rigidez a la estructura.

Dependiendo del número de tubos que se dirijan desde la pipa hasta envolver el motor, los podremos clasificar en:

#### **Chasis de cuna simple**

Se trata del chasis más básico que se puede encontrar, desde los inicios de motociclismo se han utilizado este tipo de chasis. Están basados en el chasis de bicicleta al que se le añadía un motor para impulsarlo. Modelos como el NSU visto anteriormente estaban dotados con este tipo de chasis.

En la actualidad este tipo de chasis se ha ido quedando en desuso para motores de gran cilindrada, y únicamente motocicletas tipo scooter siguen utilizándolo, aunque con la variante de que el travesaño superior se ha eliminado, de forma que la espina central forma una cuna dejando más espacio a las piernas del piloto.



Figura 19 Chasis scooter cuna simple

Si bien existe, una variante del chasis de cuna simple que sí que se utiliza bastante en la actualidad para moto tipo custom, y es que añadiendo un tubo, más o menos horizontal, que una el asiento del piloto con la pipa de dirección, confiere más rigidez a la estructura y añade la posibilidad de fijar anclajes que soporten el depósito de gasolina.

Esta variante permite que los extremos inferiores envuelvan el motor hasta llegar a las orejas del eje trasero. El motor en algunos caso puede realizar una función estructural, de forma que el chasis se interrumpe y es el motor el encargado de dar rigidez al chasis.



Figura 20 Chasis cuna simple interrumpido y chasis cuna simple desdoblado

### **Chasis doble cuna**

Se trata de una evolución del chasis de cuna simple, con un sistema muy parecido al anterior, los dos tubos suben abrazando el motor hasta la pipa de dirección,

por detrás los tubos continúan hasta las orejas del eje trasero. El motor se sitúa en la parte central, por lo que sus dimensiones no pueden ser muy grandes y por tanto se trata de chasis para motores de potencia media a pequeña, monocilíndrico o bicilíndrico en ángulo de 180°.



Figura 21 Chasis doble cuna

Por su configuración cerrada por la parte superior, este chasis proporciona unas prestaciones de resistencia y rigidez mayores que el chasis de cuna simple, formando una estructura más sólida. Puede darse el caso en que el motor por su tamaño, dificulte el acceso a sus anclajes por lo que puede aparecer ciertos elementos del chasis que estén sujetos por elementos desmontables que faciliten el acceso a ciertas tareas.

Este tipo de chasis han sido los más habituales durante gran época de la historia del motociclismo, ya sean con secciones circulares o rectangular, o que aparezcan configuraciones distintas de la disposición de los tubos.

Dentro de los chasis tubulares podemos encontrar otro tipo más de chasis, los multitubulares, que a su vez los podemos encontrar con una configuración simple o con una configuración triangulada.

### **Multitubular simple**

Este tipo de chasis es muy común, marcas como KTM, YAMAHA o la motocicleta “Transformers” de moto2 del campeonato del mundo de motociclismo utilizan esta disposición, pese a que no es de las configuraciones que mejor eficiencia estructural presenta. El chasis consiste en la unión de tubos de diferente longitud y doblados de forma que envuelvan el motor desde la pipa de dirección hasta unirse con el basculante. Los tubos suelen ser de un diámetro reducido para no incrementar el peso del conjunto.



Figura 22 Motocicleta Transformers Moto2

Este tipo de configuración proporciona una flexibilidad y buen comportamiento en carretera, pero en cambio penalizan en el paso por curva o la deceleración brusca, situaciones donde los esfuerzos de flexión y torsión influyen mucho en el chasis. El motor confiere cierta rigidez al conjunto, que dependiendo del tipo de motor, se debe adaptar a éste por lo que el diseño de los tubos deben ir de la mano de la forma del motor, para que la unión de ambos proporcione al chasis la rigidez necesaria.



Figura 23 Chasis Yamaha MT 07

### Multitubular con triangulación

Se trata de un chasis que tiene una eficiencia estructural elevada, por lo que son chasis rígidos y de gran resistencia, pero que su uso muchas veces está limitado por su difícil fabricación, ya que conlleva un alto número de soldaduras. DUCATI es la marca por excelencia de este tipo de chasis, fiel a su configuración triangulada, todos sus modelos de una forma u otra contiene una parte del chasis multitubular triangulada.



Figura 24 Chasis multitubular Ducati

Una de las características principales de los chasis multitubulares es que la longitud de los tubos no puede ser muy grande, debido a que el diámetro de estos es pequeño, entrando los tubos en resonancia. Por lo que el uso de tubos queda limitado al uso de tubos cortos o aumentar el diámetro de estos, elevando así la frecuencia natural de los tubos.

#### 2.2.2 Chasis de viga

Este tipo de chasis utiliza una viga, ya sea de forma circular o cualquier otra geometría de gran sección, como parte principal del chasis, a la que añadiendo ciertos anclajes de sujeción obtenemos un chasis de gran rigidez y un peso relativamente ligero si comparamos con la sección de tubos de los chasis multitubulares. De esta forma, la espina central confiere una resistencia apropiada en cuanto a torsión y flexión.

Uno de los principales problemas que se encontraron los primeros fabricantes de estos chasis, era la transición desde la pipa de dirección hasta el eje de la rueda trasera. Hasta la llegada de los basculantes, elemento que solucionó los problemas geométricos que aparecían a la hora de conseguir pasar de una viga, a un perfil en forma de “U” que albergara las orejeras para el eje trasero.

Debido a que estos chasis necesitaban una gran sección transversal, el fabricante Ariel Leader, aprovechó este espacio para albergar el depósito de combustible en el interior. Este chasis tuvo gran éxito en el mundo del motociclismo, gracias a su rigidez, obteniendo grandes resultados en competición en los años 60.

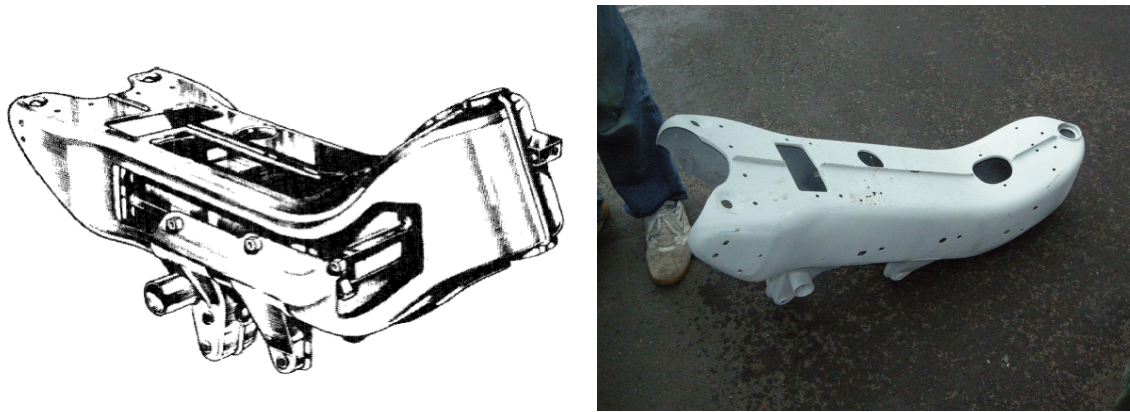


Figura 25 Chasis viga Ariel Leader

Tras esta introducción a los chasis de viga, a continuación se clasificaran en función del número de vigas que contenga el bastidor:

### **Chasis Monoviga**

Como hemos visto anteriormente, este tipo de chasis basan su rigidez estructural en la viga de la espina central, esto tiene el inconveniente de que si el motor es de gran tamaño, puede afectar al comportamiento de la motocicleta.



Figura 26 Chasis monoviga Triumph Trophy 900

### **Chasis doble viga**

Se trata del chasis que revolucionó el mundo de las motocicletas, todo ello gracias al ingeniero español, Antonio Cobas, que como vimos anteriormente, diseñó el

chasis en el que los modelos actuales se basan para fabricación. Un chasis tan extendido que las motocicletas más potentes del mercado lo usan por su gran rigidez y comportamiento estructural.

El chasis consta de dos vigas que nacen desde la pipa de dirección y que avanzan sobre el motor hasta llegar a la parte inferior, donde el eje del basculante se aloja en la parte trasera.



Figura 27 Chasis Cobas

Otra ventaja que tiene este tipo de chasis es que deja mucho espacio por debajo del depósito, lo que facilita el acceso a cualquier tipo de reparación o cambio de bujía, algo que se agradece mucho en el mundo de la competición, en la que ganar cualquier milésima puede dar un título

El chasis “Cobas” tiene un único inconveniente de que aun siendo fabricado en aluminio, tiene un peso algo elevado pero que gracias a su gran capacidad para almacenar motores de gran potencia, permite que este problema sea menor. Además este tipo de chasis ha ido evolucionando con los modelos actuales permitiendo que motores novedosos como los “Airbox”, que necesitan de la entrada de un gran caudal de aire a través de su “Ramair”, elemento situado en la parte frontal de la moto y que son los encargados de alimentar el sistema de aire nuevo.



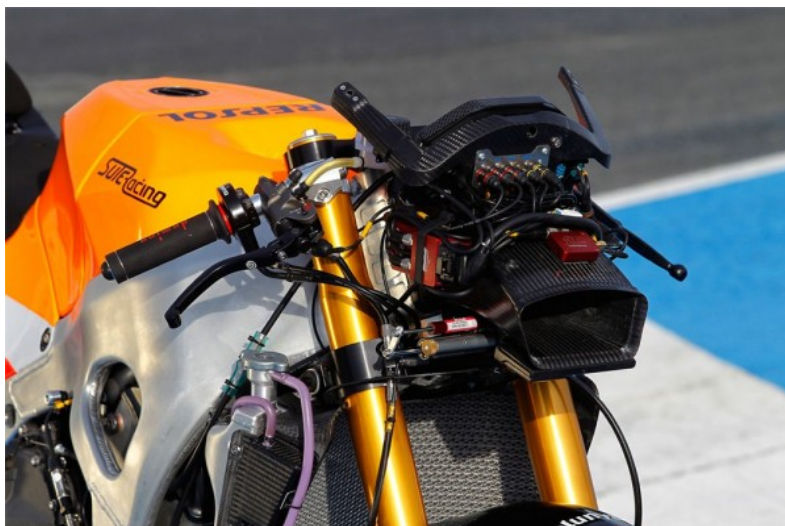


Figura 28 Imagen del Ramair en un chasis Cobas actual

### 2.3.3 Chasis con motor estructural

En este tipo de chasis el motor es el encargado de dar la rigidez necesaria, utilizado tanto para tubulares como para vigas, el motor tiene que soportar los esfuerzos de torsión y flexión, por lo que este necesitara estar reforzado o utilizar materiales de una mayor resistencia y por consiguiente mas caros.

Este modelo solo es factible si se utiliza en motores de gran envergadura, ya que estos tienen la resistencia necesaria para unir la pipa de dirección con la parte donde se encaja el basculante, por lo que recibirá grandes esfuerzos.

Como vimos anteriormente, el primer modelo en utilizar este tipo de chasis fue el fabricado por Vincent en 1939. En la actualidad existen modelos que utilizan el motor como parte estructural con grandes resultados, como puede ser el modelo de BMW HP2.



Figura 29 Bmw HP2 con motor estructural

El bloque motor junto con la caja de cambios hacen de unión entre el basculante y la pequeña estructura que soporta el eje de dirección delantera. Este modelo utiliza un sistema de horquilla delantera en la que la falsa pipa de dirección va anclada al motor a través de un brazo en forma de “V” y que conecta también el telever.

Este sistema también ha sido utilizado en el mundial de motociclismo por la casa DUCATI de MotoGP. Este modelo consta de una estructura superior de carbono, que se une con el motor para finalmente llegar al basculante.



Figura 30 Ducati GP09 de MotoGP

Si Antonio Cobas ya era considerado como uno de los mejores ingenieros del mundo en su especialidad, tras su muerte por cáncer en 2004, se descubrió que estaba trabajando desde el año 2000 en un modelo de MotoGP con motor estructural, pero que por falta de apoyo económico y su muerte no pudieron llevar a cabo.

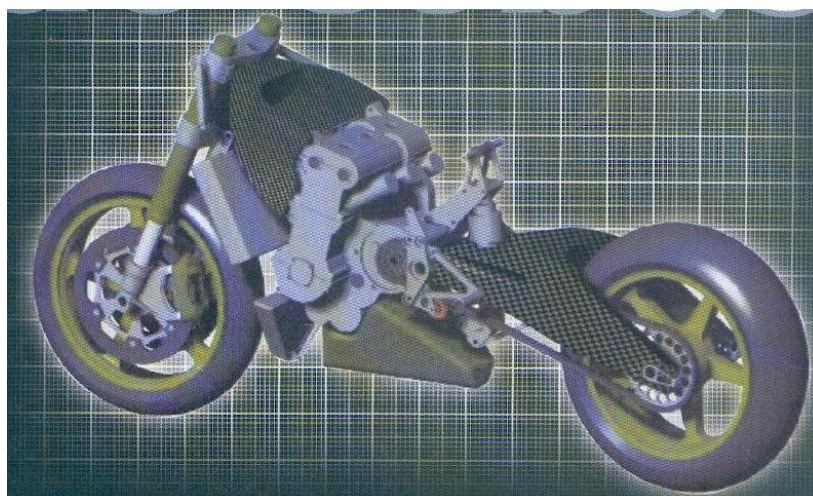


Figura 31 Proyecto MotoGP Cobas

### 2.3.4 Chasis monocasco

Se trata de que el carenado de la motocicleta realice funciones estructurales que debería realizar el chasis. En el mundo de las motocicletas es complicado ver modelos así, debido a la complejidad de las formas que posee una motocicleta. Aun así, modelos como la NR 500 de Honda o las Vespa, utilizaron este tipo de chasis en sus modelos.



Figura 32 NR 500 y Vespa con chasis monocasco

## 2.4 Normativa

El presente proyecto tiene por finalidad diseñar un chasis y simular esfuerzos que permitan lanzar al mercado doméstico una posible fabricación del mismo. Ya dejado claro cual será el mercado de este chasis, éste debe cumplir una serie de normativa referente a homologaciones, característica y pruebas de esfuerzos que le permitan obtener los permisos correspondientes.

La normativa reguladora en cuanto a las motocicletas se refiere, se puede encontrar en los siguientes documentos:

- Directiva 2002/24/ce del parlamento europeo y del consejo de 18 de marzo de 2002 relativa a la homologación de los vehículos de motor de dos o tres ruedas y por la que se deroga la directiva 92/61/cee del consejo.
- Real decreto 2028/1986, de 6 de junio, por el que se dictan normas para la aplicación de determinadas directivas de la CEE, relativas a la homologación de tipo de vehículos automóviles, remolque y semirremolques, así como de partes y piezas de dichos vehículos.

## 2.5 Materiales

Una vez hemos diseñado el modelo, hay que asignarle un material para que cuando simulemos sepamos con la mayor exactitud si cumplirá los requisitos para los que ha sido diseñado. Por ello es muy importante tener en cuenta características tales como la rigidez, ductilidad, densidad, coste del material o la resistencia a fatiga. Las características del material vendrá dada por el uso que va sufrir el modelo.

Las tensiones, en especial la tensión de rotura y el límite elástico, se usan para medir la resistencia del chasis. La tensión se expresa como la fuerza aplicada por unidad de sección transversal del material, y la relación entre la carga aplicada y la deformación que produce se denomina como módulo de Young.

Si al material le aplicamos una tensión que esté por debajo del límite elástico, éste material se deformará de una manera elástica, es decir, al retirar ese esfuerzo el material volverá a su estado original. Por el contrario si aplicamos un tensión superior al límite elástico, llegaríamos a un punto de no retorno y por el cual el material no recuperaría su estado original. Si continuásemos con el esfuerzo, una vez pasado el límite elástico el siguiente paso sería la rotura del material. Por lo que el término ductilidad juega un gran papel en la elección del material, ya que es el encargado de cómo se comportará el material ante los esfuerzos recibidos, por lo que si el material soporta una gran deformación antes de romperse diremos que el material es muy dúctil y por el contrario, si se rompe con facilidad diremos que es poco dúctil. En nuestro caso, a la hora de diseñar un chasis, es recomendable utilizar materiales muy dúctiles de forma que soporten gran cantidad de esfuerzos antes de romperse.

Dejado claros estos conceptos, los materiales mas empleados en la fabricación de un chasis son:

### 2.5.1 Acero

El Acero es básicamente una aleación o combinación de hierro y carbono (alrededor de 0,05% hasta menos de un 2%). Ya que el acero es básicamente hierro altamente refinado (más de un 98%), su fabricación comienza con la reducción de hierro (producción de arrabio) el cual se convierte más tarde en acero.

Porcentajes mayores que el 2% de carbono dan lugar a las fundiciones y aleaciones con muy pequeña cantidad de carbono, la diferencia fundamental es su ductilidad, fácilmente deformables en caliente por forja, extrusión o laminación, mientras que el de función se transforma mediante moldeo.

El hierro puro es uno de los elementos del acero, por lo tanto consiste solamente de un tipo de átomos. No se encuentra libre en la naturaleza ya que químicamente reacciona con facilidad con el oxígeno del aire para formar óxido de hierro. El óxido se encuentra en cantidades significativas en el mineral de hierro, el cual es una concentración de óxido de hierro con impurezas y materiales térreos.

Se circunscribe a los aceros al carbono en los que éste último es el único presente en la aleación o los demás presentes lo están en cantidades muy pequeñas, insuficientes para que su presencia cause variaciones en las características de la

aleación, pues de hecho existen multitud de tipos de acero con composiciones diferentes que según el componente que entre en aleación variara sus propiedades estructurales.

### 2.5.2 Acero al cromo-molibdeno

Es de la familia de aceros microaleados de alta resistencia y de baja aleación, según lo especificado por la Sociedad de Ingenieros Automotrices. Sus elementos aleación incluyen el cromo y molibdeno, (Cr [0.40-1.20 %], Mo [0.08-0.25 %]) y como resultado de estos materiales se refiere a menudo como acero CRMO o Chromoly (CrMo o CroMo). Tiene una fuerza excelente al cociente de peso, son fáciles de soldar y son considerablemente más fuerte y más duro que el estándar 1020 de acero. No es tan ligero como una aleación de aluminio, pero tiene la ventaja de una alta resistencia a la tracción y alta ductilidad.

### 2.5.3 Aluminio

Las propiedades físicas más destacables del aluminio y sus aleaciones son: poco peso, buena resistencia a la corrosión, y conductividad elevada, tanto térmica como eléctrica. Además a su favor tiene que se trata de un material con un bajo coste de reciclado, punto muy a tener en cuenta en los tiempos que corren, destacar también su vida útil es larga y que su precio no suele sufrir variaciones altas. Por el contrario, la cantidad necesaria de energía para obtenerlo es alta, por lo que muchas veces puede ser un impedimento a la hora de su utilización.

Se trata de un metal ligero, blando pero con una capacidad resistiva alta, de aspecto plateado. Tiene una densidad baja en comparación con el acero o el cobre, del orden de una tercera parte. Es fácilmente mecanizado gracias a su maleabilidad y ductilidad. En estado natural se forma una fina capa de óxido impermeable que detiene el proceso de oxidación proporcionándole durabilidad y resistencia a la corrosión.

Las ventajas del acero sobre el aluminio son el coste económico de compra, la facilidad de trabajar sobre el acero ya no necesita soldadura TIG, y una mayor tenacidad, aspecto importante ya que el chasis recibe constantemente vibraciones del motor. Por otra parte el aluminio es 3 veces más ligero que el acero, consiguiendo chasis con grandes capacidades estructurales con un peso y dimensiones reducidas, además hay que sumarle que resiste fantásticamente el paso del tiempo y las condiciones climatológicas, ya que no se oxida, por el contrario salvo que el acero haya sido tratado, no soportara las condiciones igual que el aluminio.

### 2.5.4 Titanio

Se clasifica como un metal de transición. En estado puro es blanco y brillante, es muy resistente, ligero y tiene una densidad considerablemente baja, siendo excelente en la resistencia frente a la corrosión. El titanio es tan fuerte como el acero y con frecuencia se lo compara con dicha aleación, es un 60 por ciento más pesado que el aluminio, sin embargo, es el doble de fuerte. Es un elemento dúctil únicamente cuando está libre en el oxígeno, por lo que presenta buenas capacidades mecánicas,

fisiológicamente se lo considera inerte y además, es dimórfico (puede cristalizar en dos sistemas distintos).

La aleación más empleada es la Ti-6Al-4V (con un 6% de Aluminio y un 4% de Vanadio), que tiene unas extraordinarias propiedades mecánicas: Resistencia a la tracción de 896 MPa, límite elástico de 827 MPa, ductilidad del 10%, dureza de 33 HRB y una soldabilidad muy buena. Las aleaciones de titanio permiten la fabricación de piezas con una relación resistencia/masa envidiable y es posible que ésto le haga ser el material del futuro para la construcción de elementos mecánicos, con resultados excepcionales, en el campo de las motocicletas de competición.

### 2.5.5 Fibra de carbono

La fibra de carbono es un polímero convertido en fibra. En la mayoría de los casos, las fibras de carbono permanecen como carbón no grafitico. El término fibra de grafito solo está justificado, cuando las fibras de carbono han sido sometidas a un tratamiento térmico de grafitización (2000-3000 °C), que les confiere un orden cristalino tridimensional, observable mediante rayos X.

Se trata de un material con un coste elevado, fuerte y extremadamente ligero. En su estado natural lo encontramos se trata de un material blando pero si se asocia con resina epoxy y se trata térmicamente, adquiere unas propiedades estructurales fantásticas. La densidad de la fibra de carbono es de 1.750 Kg/m<sup>3</sup>. Es conductor eléctrico y de baja conductividad térmica. Al calentarse, un filamento de carbono se hace más grueso y corto.

Sus principales características son:

- Elevada resistencia mecánica, con un módulo de elasticidad elevado.
- Baja densidad, en comparación con otros elementos como por ejemplo el acero.
- Elevado precio de producción.
- Resistencia a agentes externos.
- Gran capacidad de aislamiento térmico.
- Resistencia a las variaciones de temperatura, conservando su forma, sólo si se utiliza matriz termoestable.
- Resistencia a la corrosión, al fuego e inercia química y la conductividad eléctrica.
- Ante variaciones de temperatura conserva su forma.

Hasta hace una década se trataba de un material muy utilizado en aeronáutica o automovilística, ya que su coste solo se lo podían permitir grandes marcas. En la

actualidad es difícil encontrar un deporte en el que la fibra de carbono no este presente, desde el ciclismo, tenis, fútbol pasando por las motocicletas o hockey. Se trata de un material con un gran mercado que ha permitido ajustar costes y permitir mejorar la calidad de las herramientas de muchos otros deportes. En cuanto a motociclismo se refiere, como hemos observado anteriormente, Antonio Cobas ya trabajaba en sus ideas con la fibra de carbono y desde entonces, todo tipo de elementos de la motocicletas se fabrican en este material, como pueden ser chasis, carenados, retrovisores, cascos de pilotos, etc.

### 2.5.6 Magnesio

El magnesio es un metal ligero, con una densidad de  $1740 \text{ Kg/m}^3$ , que compite con el aluminio para aplicaciones que requieren metales de baja densidad, a pesar de su mayor precio, alrededor del doble. Sin embargo, el magnesio y sus aleaciones muestran una serie de desventajas que limitan su utilización. Por una parte la reactividad del magnesio es elevada y sin embargo la estabilidad de sus óxidos es pobre por lo que su resistencia a corrosión es pequeña, sus características mecánicas son del orden de las correspondientes a las aleaciones de aluminio incluso de forma específica, y muestran pobres resistencia a termofluencia, fatiga y desgaste. Además, resultan aleaciones de difícil colabilidad y que en estado fundido arde en contacto con el aire, y su transformación en frío resulta igualmente difícil al cristalizar el Mg en una estructura hexagonal densa que no favorece precisamente su deformación. No obstante tiene amplias aplicaciones en la ingeniería aeronáutica y aeroespacial. En el mundo del motociclismo se ha usado para espina central del chasis, aunque utilizar este material para estos elementos.

A continuación podemos observar una tabla con diferentes materiales y sus características

Materiales	Tensión de rotura Kgf/mm <sup>2</sup>	Gravedad específica	Modulo de Young X 10 <sup>4</sup> Kgf/mm <sup>2</sup>	Rigidez relativa
Fundición gris	16-22	7.3	1.27	0.65
Acero inoxidable	47-63	7.8	2.1	1.00
Tubo Reynolds 531	78	7.8	2.1	1.00
Aleaciones de Aluminio	17-63	2.7	0.7	0.96
Aleaciones de Magnesio	19-32	1.7	0.44	0.96
Aleaciones de Titanio	47-126	4.4	1.2	1.01
Nylon	8	1.1	0.14-0.28	0.47-0.95
PVC	6	1.4	0.025-0.042	0.07-0.11
PTFE ( Teflon)	1.3	2.2	0.035-0.042	0.06-0.07
Fibra de vidrio	16-35	1.7	0.07-0.2	0.15-0.44
Fibra de carbono	140	1.6	2.2	5.11

Tabla 1 Propiedades diferentes materiales

## 3. Diseño

### 3.1 Software utilizado

SolidWorks es un software CAD (diseño asistido por ordenador) para modelado mecánico en 3D, desarrollado en la actualidad por SolidWorks Corp., una filial Dassault Systèmes S.A. para el sistema operativo Microsoft Windows. Su primera versión fue lanzada al mercado en 1995 con el propósito de hacer la tecnología CAD más accesible. El programa permite modelar piezas y conjuntos y extraer de ellos tanto planos técnicos como otro tipo de información necesaria para la producción. Es un programa que funciona con base en las nuevas técnicas de modelado con sistemas CAD. El proceso consiste en traspasar la idea mental del diseñador al sistema CAD, "construyendo virtualmente" la pieza o conjunto. Posteriormente todas las extracciones (planos y ficheros de intercambio) se realizan de manera bastante automatizada.

### 3.2 Proceso de diseño de un chasis

El proceso de diseño de chasis ha evolucionado de una forma inimaginable para los ingenieros de los primeros chasis. Anteriormente se usaba la técnica de "ensayo y error" técnica que daba muy buenos resultados pero que resultaba muy costosa y lenta, ya que para obtener resultado había que realizar todo el proceso de fabricación por lo que si el proyecto no era correcto se perdía un tiempo muy valioso. Estos dos grandes inconvenientes se hacía aun mayores para fabricantes que no tuvieran una apoyo económico grande, ya que un mal diseño podía acabar con el presupuesto de la marca.

En la actualidad, el mundo del diseño ha cambiado mucho y no se concibe un proyecto en el que la informática no comande los tiempos. Ahora los proyectos se lanzan gracias a potentes programa de diseño asistido por ordenador que permiten realizar todo tipo de simulaciones antes de lanzarse a fabricar un nuevo modelo. Es posible ensamblar toda una motocicleta con todos sus componentes sin tocar un solo tornillo o tuerca.

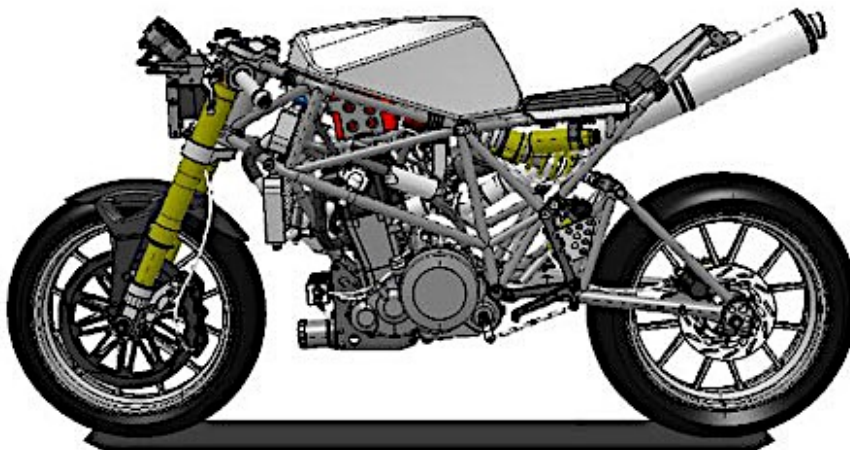


Figura 33 Modelo CAD de una motocicleta



También hay que reseñar, que además de este tipo de programas existen otros que nos permiten simular el comportamiento de un tubo cuando es sometido a una fuerza o momento, el comportamiento de un carenado cuando circula a una velocidad, como se comporta un fluido en el interior de un pistón, etc. Todo este tipo de programas nos permiten conocer casi con exactitud como se comportara nuestra motocicleta antes de salir al mercado, y poder realizar evoluciones o cambios antes de pasar a la fase de fabricación.

Con todo esto, se van a considerar ciertos pasos a seguir a la hora de diseñar un chasis con ordenador, que son los siguientes:

- Una vez elegido el tipo de motor seleccionado, lo primero es definir bien las cotas, entre ellas la distancia entre ejes, diámetro de ruedas, distancia de la horquilla delantera, longitud del basculante, etc. Esto es un paso muy importante, ya que hay que conseguir el centro de masa del conjunto este lo más bajo posible, de esta forma conseguiremos una moto más manejable, y también se definirá el reparto de cargas entre el tren delantero y tren trasero.
- Diseñar mediante software CAD, todos los elementos del modelo. Se trata de un proceso en el que se puede ir variando los elementos de forma que vaya adoptando la forma deseada. Gracias a este tipo de software es posible, modificar, recortar, alargar, deshacer, cualquier elemento ya modelado, y volver a asignarle una cotas que permitan el correcto ensamblaje del proyecto.
- Calcular los esfuerzos y deformaciones que va a recibir nuestro modelo, gracias al software MEF (método de elementos finitos). Este programa nos permite simular como se comportará nuestro modelo ante los diferentes casos, como pueden ser la aceleración y frenada que sufrirán tanto esfuerzos longitudinales como verticales, como puede ser el paso por curva que recibirá esfuerzos torsionales. Una vez obtenidos los resultados, si son correctos, se pasaría a la fase de fabricación, si por el contrario el modelo no soporta los esfuerzos, volveríamos al segundo paso, donde modificaremos los diámetros de sección, el material o el modelo por completo.

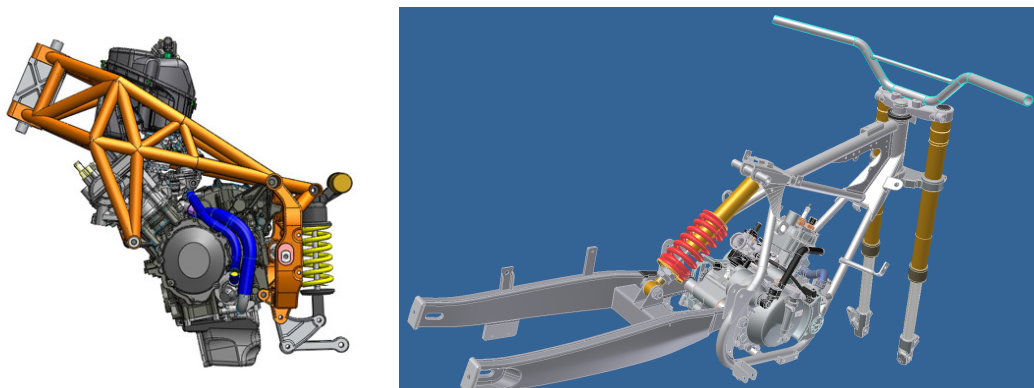


Figura 34 Modelos CAD de diferentes chasis

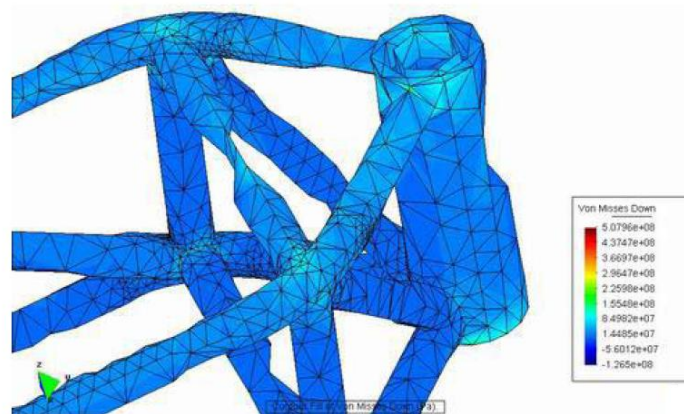


Figura 35 Chasis simulado mediante MEF



Figura 36 Fabricación del diseño CAD a la realidad

### 3.3 Modelado del chasis

El chasis del presente proyecto corresponde al chasis de doble cuna de viga de aluminio, conocido como “Deltabox”. A continuación se realiza una breve descripción desde la parte delantera hasta el final del chasis. Lo primero que se encuentra en la parte delantera es la pipa de dirección, sobre ella ejercerán las fuerza provenientes de la suspensión delantera así como los esfuerzos producidos por el piloto sobre el manillar. Desde la pipa de dirección se recorre la doble cuna, aquí se puede observar como varios elementos bajan desde cunas y que abrazan el motor, que junto con dos sujeciones que se encuentran en la parte inferior del chasis, mantendrán el motor sujeto y serán los encargados de evitar la posibles vibraciones. Si continuamos avanzando por las cunas hacia la parte superior trasera podemos observar, el saliente situado en la parte superior

del chasis, aquí es donde recaerá el peso del piloto, por lo que debe de dar la sensación de seguridad y firmeza, puesto que las sensaciones del piloto son muy importantes a la hora de la conducción. Justo debajo de esta pieza se encuentra uno de la travesaños que unen las dos partes de la cunas y que proporcionan rigidez al chasis. En este travesaño podemos encontrar los anclajes donde se sujetara la suspensión, sobre éstos se ejercerán las fuerzas que provienen del tren trasero de la motocicleta a través de la suspensión situada a 30° sobre la horizontal del basculante. Por último en la parte inferior del chasis, es donde se situará el eje del basculante, se trata de una zona que recibirá grandes esfuerzos ya que sobre ella recaerán los esfuerzos de aceleración y que juntos con los anclajes de la suspensión comentados anteriormente, serán los encargados de mantener el tren trasero sujeto al chasis.

El chasis ha ocupado un volumen de 0,00995 m<sup>3</sup> de aluminio para fabricarse, y tiene un peso de 26,880 Kg.

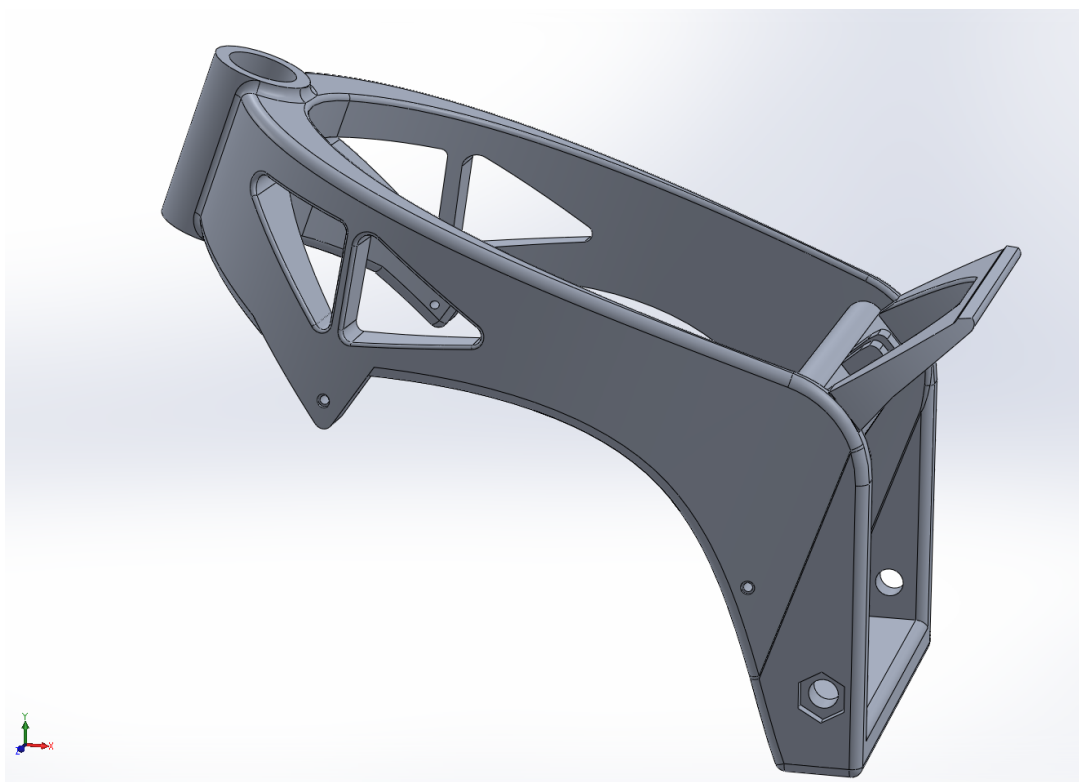


Figura 37 Vista presentación chasis

El aluminio seleccionado para fabricar este chasis se trata del 6061 T6. El aluminio 6061 es una aleación de aluminio endurecido que contiene como principales elementos aluminio, magnesio y silicio. Originalmente denominado "aleación 61S" fue desarrollada en 1935. Tiene buenas propiedades mecánicas y para su uso en soldaduras. Es una de las aleaciones más comunes de aluminio para uso general, especialmente estructuras de alta resistencia que requieran un buen comportamiento mecánico y resistencia a la corrosión. Se utiliza en camiones, barcos, vehículos, mobiliario y tuberías.

Adicionalmente a sus características naturales (excelente conductividad, ligereza, nula toxicidad y que no produce chispa), el aluminio 6061-T6 ofrece las siguientes ventajas

- Resistencia superior a la de las aleaciones 6063
- Elaborado mediante tratamiento térmicos
- Envejecido artificialmente
- Óptima conformación con el frío

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	69000.00067	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson	0.33	N/D
Límite de tracción	310.0000021	N/mm <sup>2</sup>
Límite elástico	275.0000009	N/mm <sup>2</sup>
Módulo tangente		N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de expansión térmica	2.4e-005	/K
Densidad de masa	2700	kg/m <sup>3</sup>
Factor de endurecimiento	0.85	N/D

Tabla 2 Propiedades aluminio 6061 T6

A continuación podemos observar diferentes imágenes del modelado del chasis diseñado para este proyecto:

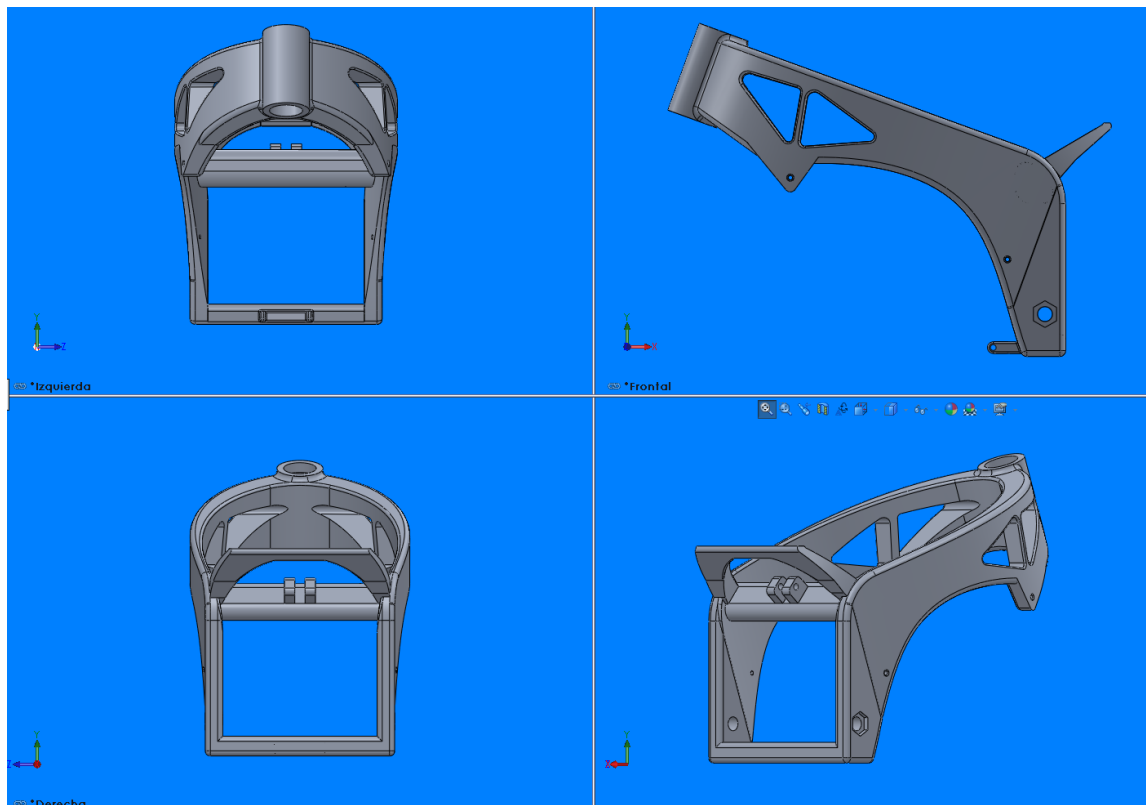


Figura 38 Diferentes vistas del chasis I

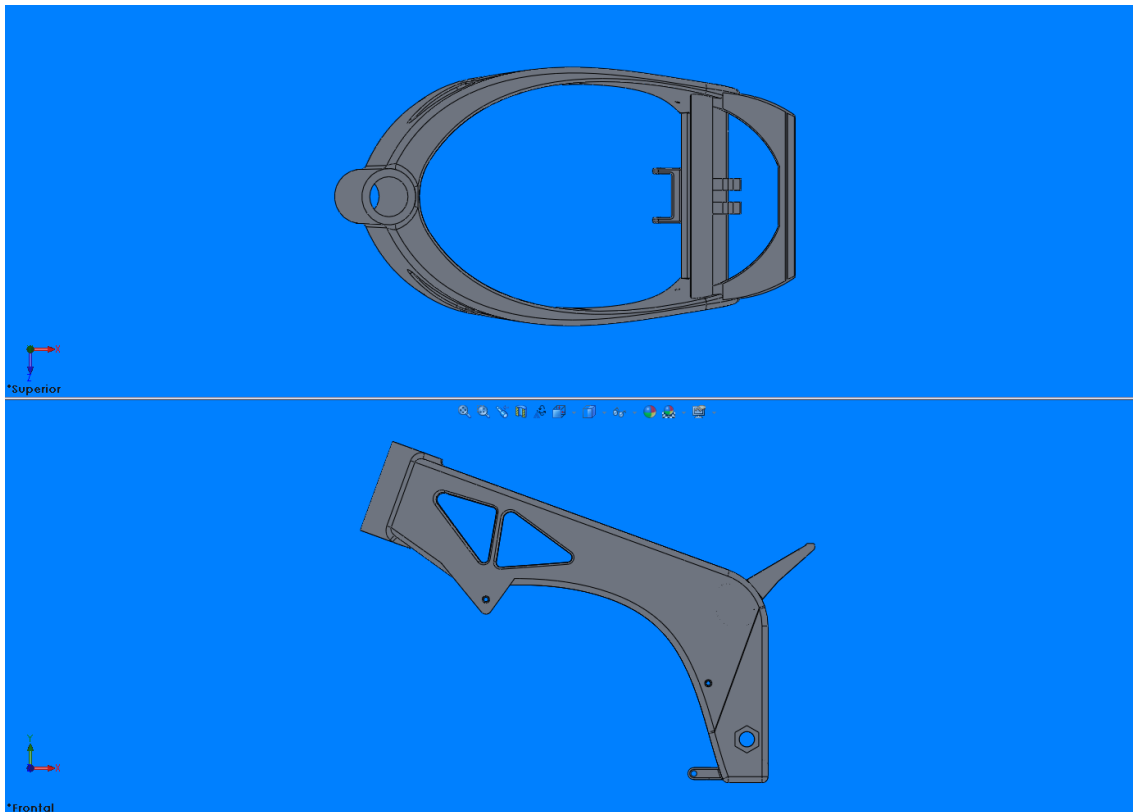


Figura 39 Diferentes vistas chasis II

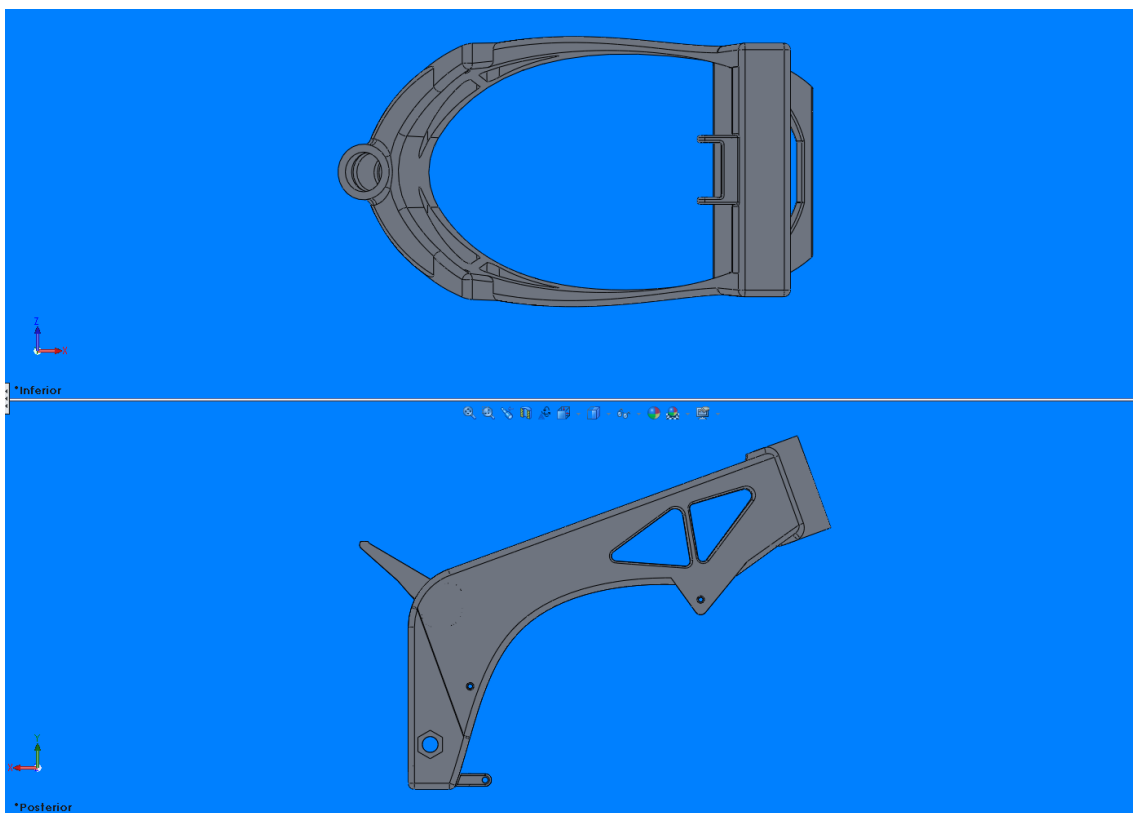


Figura 40 Diferentes vistas chasis III

En la siguientes imágenes se puede observar con más detalle la pipa de dirección, donde se sitúa la horquilla delantera, por lo que se trata de una parte del chasis lo suficientemente rígida para que soporte los esfuerzos recibidos en cada caso simulado.

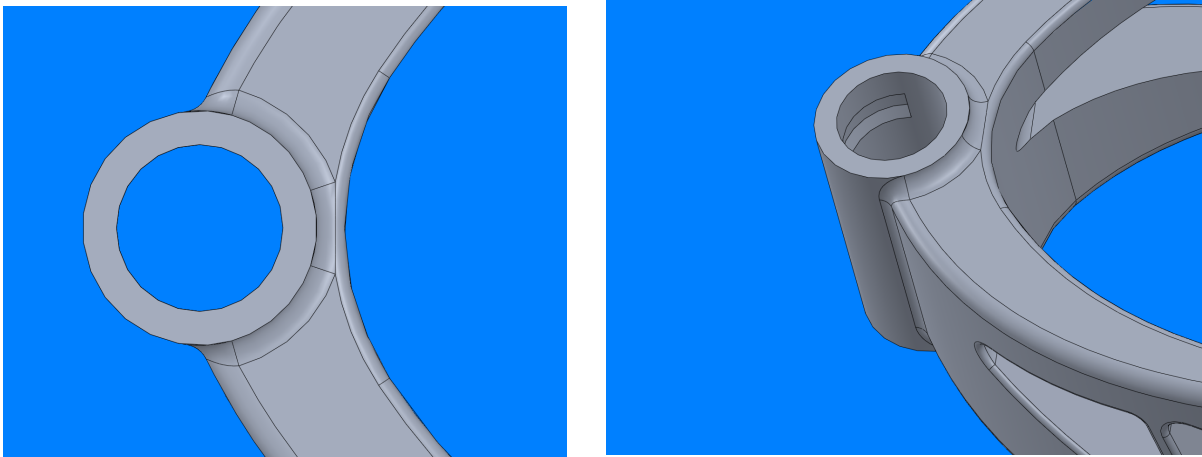


Figura 41 Vistas detalle pipa dirección

A continuación se mostraran las diferentes vistas de los anclajes de suspensión, basculante y motor:

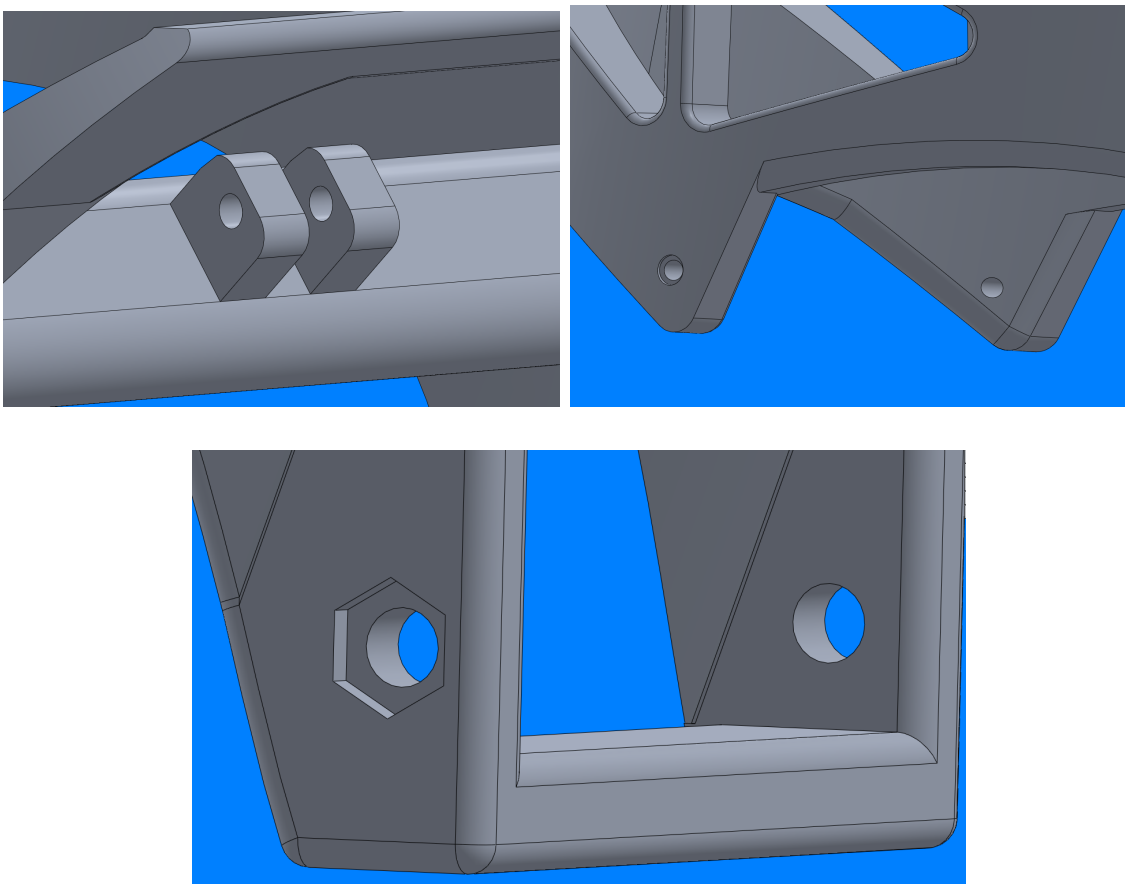


Figura 42 Vistas detalle anclajes suspensión, basculante y motor

Diferentes vistas de la parte superior del chasis, este elemento es el encargado de soportar las cargas debidas al piloto, como se ha comentado anteriormente, se trata de un elemento que debe proporcionar sensación de rigidez y firmeza, ya que es el encargo de transmitir al piloto las vibraciones y comportamiento de la moto:

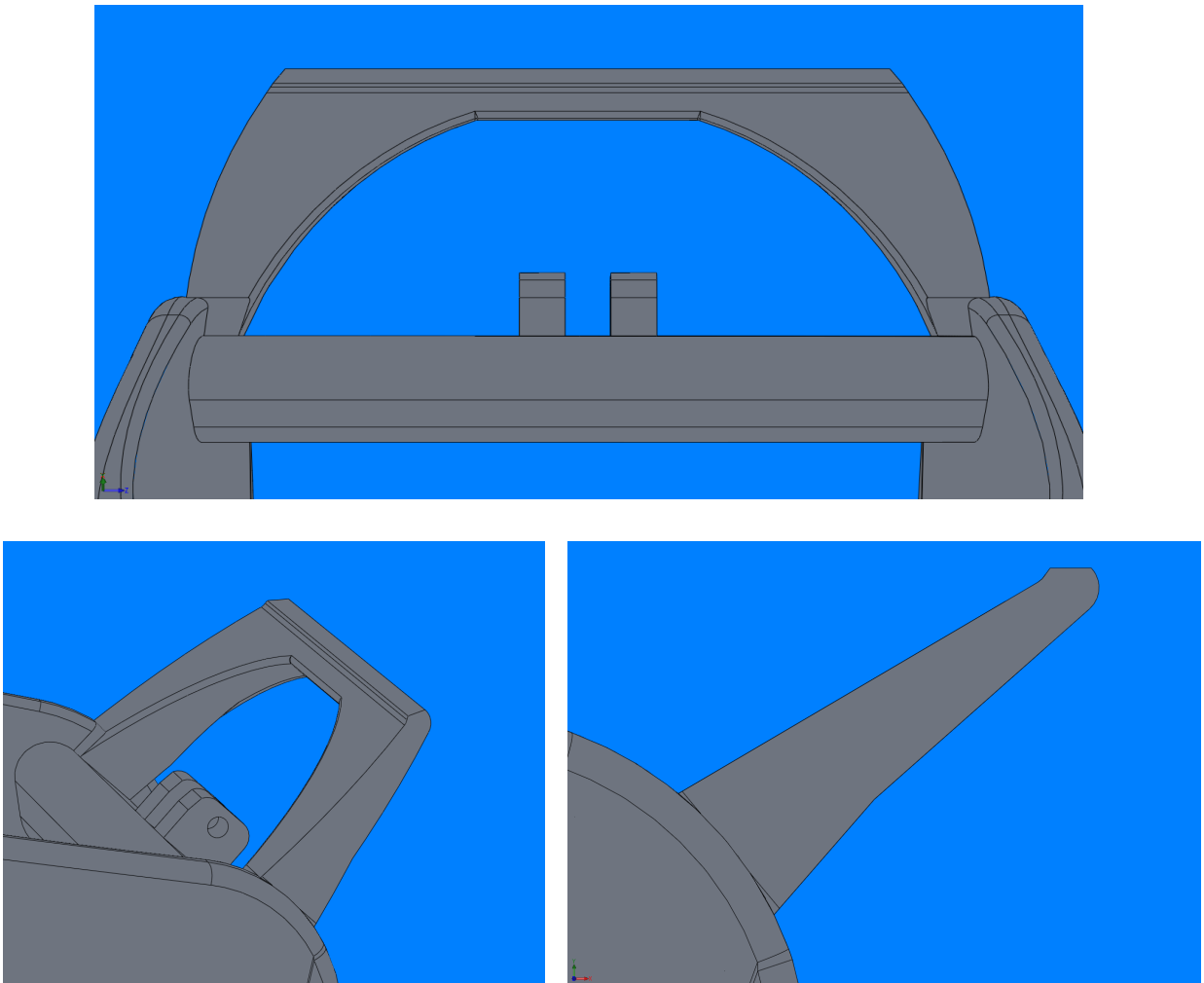


Figura 43 Vista detalle soporte piloto

Por último se observan dos imágenes que muestran con la transparencias y las líneas ocultas, la complejidad del modelo diseñado.

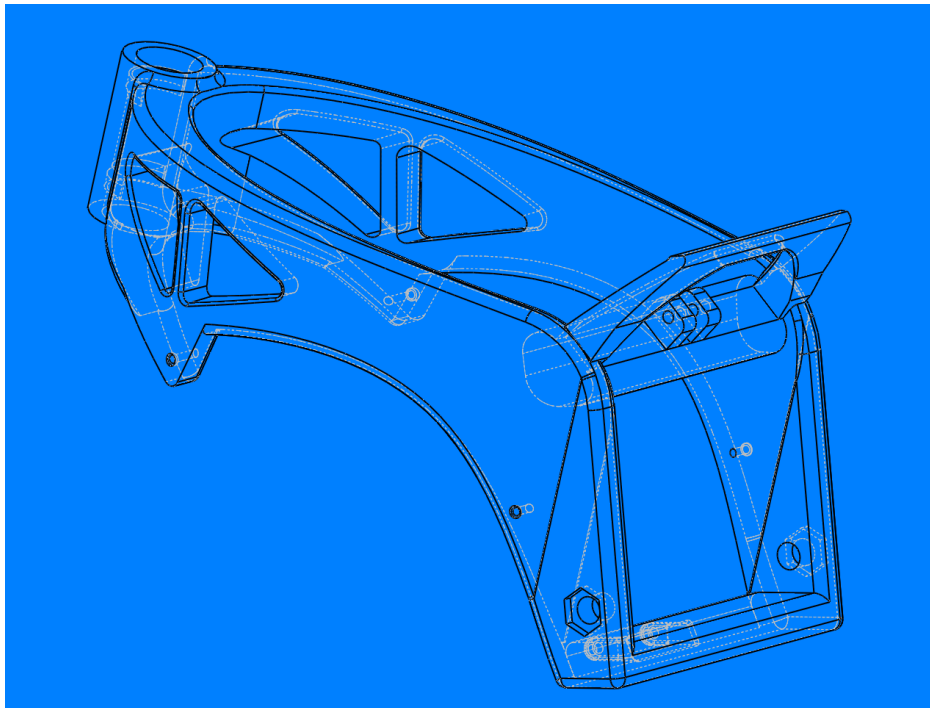


Figura 44 Vista líneas ocultas chasis

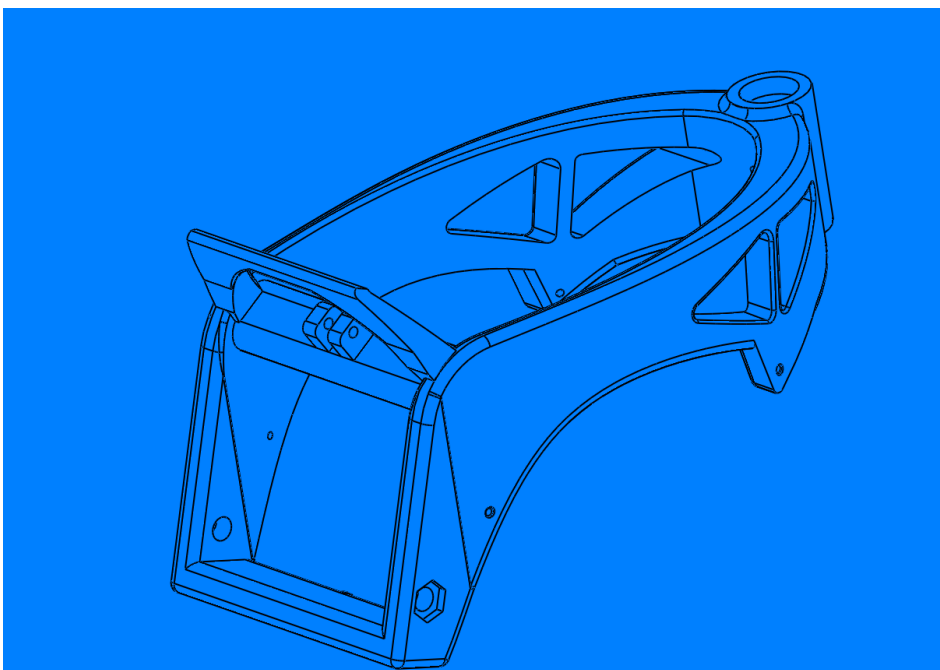


Figura 45 Vista transparente del chasis



### 3.4 Simulación del Modelo.

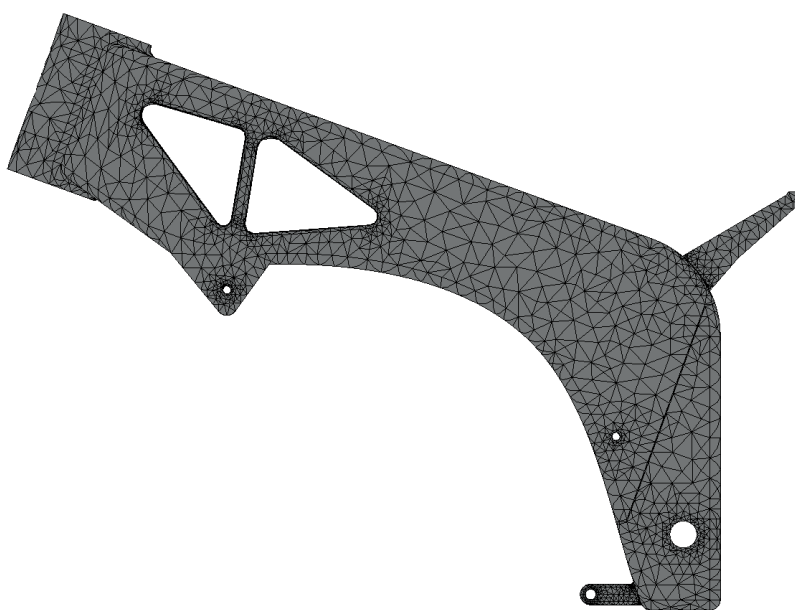
Una vez finalizado nuestro modelado del chasis, el siguiente paso será simular los diferentes casos que van a ser objeto de nuestro proyecto, para ello se ha realizado un estudio de MEF (Método de Elementos Finitos) y el cual nos aportará la información necesaria para saber si nuestro modelo es capaz de resistir los esfuerzos a los que le someteremos.

El MEF es un método numérico de resolución de ecuaciones diferenciales. Para ello trabaja discretizando la estructura en elementos de forma variada (pueden ser superficies, volúmenes y barras), que se conectan entre sí mediante “nodos”. La solución ahora es sólo aproximada en función de los resultados obtenidos para los nodos. El MEF parte del cálculo matricial en el planteamiento del equilibrio en los nodos mediante un sistema de ecuaciones resultado de la contribución de los elementos.

Para la realización de MEF, utilizaremos Solidworks Simulation, que se trata de una de las funciones añadidas que podemos encontrar dentro del Solidworks2015. Solidworks Simulation utiliza el método de formulación de desplazamientos de elementos finitos para calcular desplazamientos, deformaciones y tensiones de los componentes con cargas internas y externas.

#### 3.4.1 Mallado

El primer paso para realizar el MEF consiste en realizar un mallado de chasis modelado. Para el chasis de este proyecto se ha utilizado un malla adaptativa de tipo “h”. Los métodos adaptativos están basados en la estimación de error, y más concretamente los tipo “h” consiste en la utilización de elementos más pequeños en regiones con altos niveles de error. Después de ejecutar el estudio y estimar los errores, el software automáticamente refina la malla donde sea necesario para mejorar los resultados. El tamaño de la malla utilizado es de 10 mm de longitud y un tolerancia de 0.5 mm.



\*frontal

Figura 46 Vista mallado frontal

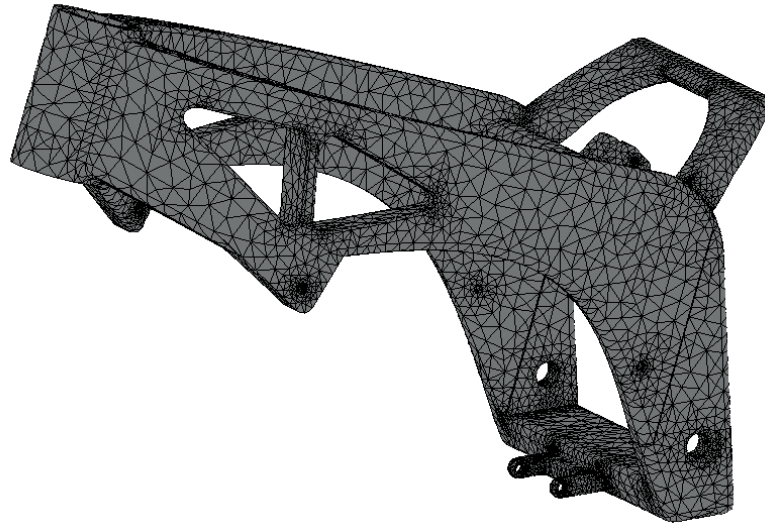


Figura 47 Vista mallado 3D

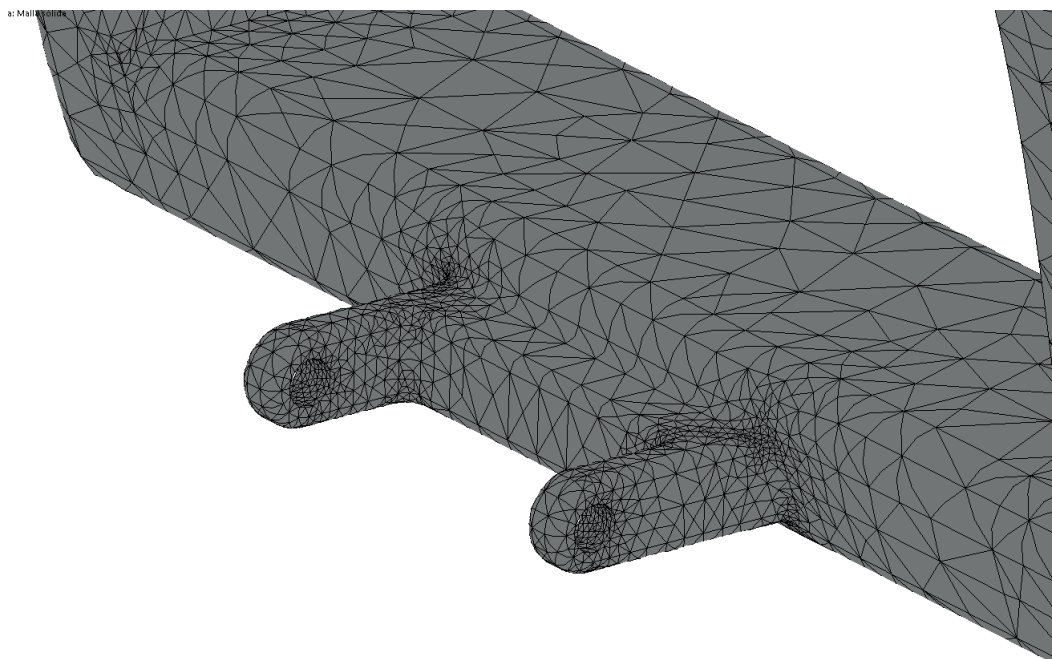


Figura 48 Detalle de la adaptación del mallado

### 3.5 Hipótesis de casos

A la hora de simular el comportamiento de nuestro chasis, debemos introducir en el programa las fuerzas y momentos que se ejercerán sobre el modelo diseñado, a modo de simular los esfuerzos que sufrirá de forma lo mas real posible. Para ellos se dan unas condiciones de entrada que son comunes en los 3 casos hipotéticos que se van a simular:

- Peso motocicleta 183 Kg
- Peso piloto 85 Kg
- Peso motor 60 Kg
- Coeficiente de rozamiento ( $\mu$ ) 0,5
- Angulo de la suspensión trasera 30°
- Angulo lanzamiento 20°

#### 3.5.1 Caso aceleración 0-100 Km/h

En esta primera hipótesis se va a simular la aceleración de una motocicleta que se encuentra parada hasta que alcanza una velocidad de 100 Km/h. Como se trata de simular el caso de aceleración más agresivo supondremos que la motocicleta no toca con su rueda delantera el asfalto, por tanto habrá una transferencia de carga del 100% a la rueda trasera. Debido a ésto, el piloto que está sujeto al manillar, realizará una fuerza hacia detrás para mantenerse equilibrado, por lo que habrá una entrada de fuerza paralela al suelo que tendrá su entrada en la pipa de dirección. Además el propio peso del piloto ejercerá una fuerza vertical en dirección hacia el suelo y que se sitúa en la parte superior del chasis. Por otra parte el peso total del conjunto motocicleta-piloto ( $183+85= 268$ ) recaerá sobre la rueda trasera.

El motor, como masa suspendida que es, tiende a seguir su movimiento por lo que cuando aceleramos el motor ejercerá dos fuerzas, una la creada por su propio peso y la gravedad y de otro lado la fuerza en el sentido de la aceleración formada por su propio peso y el valor de la aceleración. Esta fuerza tendrá su entrada por las 4 sujeciones que abrazan el motor.

Por ultimo habrá dos entradas de fuerzas provocadas cuando aceleramos y que se da en el punto de contacto entre el neumático y el asfalto, que empuja la rueda trasera hacia delante y otra fuerza de empuje de la cadena hacia delante. Ambas fuerzas entraran al chasis por el eje del basculante.

Se va a suponer que la suspensión trasera se comporta únicamente como un muelle, por lo que la constante elástica del muelle seleccionado es de 105 K/mm, se trata de un valor común en el mundo de las motocicletas y que se puede encontrar en suministradores como Ducati parts o Ohlins.

Una vez aclarado la entrada de fuerza vamos a proceder a los cálculos:

$$F = P * g = 268 * 9,81 = 2629 \text{ N}$$

$$F = N = 2629 \text{ N}$$

$$N' = \frac{N}{\text{sen}30^\circ} = 5258 \text{ N}$$

$$F_{\text{tracción}} = m * g * \mu = 1314,5 \text{ N}$$

$$F_{\text{cadena}} = \frac{3r}{r} F_{\text{tracción}} = 3943,5 \text{ N}$$

$$F_{\text{basculante}} = 3943,5 + 1314,5 = 5258 \text{ N}$$

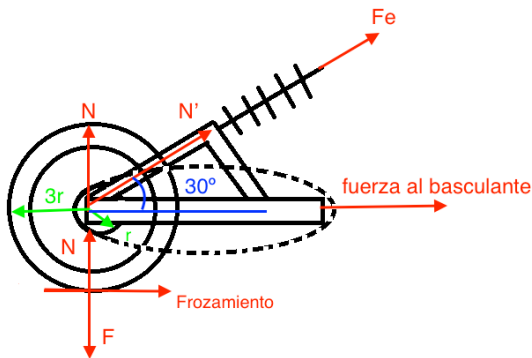


Figura 49 Fuerzas Tren trasero

**Fuerza debidas al motor**

$$F_{\text{peso motor}} = 60 \text{ Kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 588,60 \text{ N} \quad (\text{Este valor es el total de la fuerza que realiza el motor en sus 4 anclajes})$$

Tiempo aproximado de una motocicleta convencional en aceleracion de 0-100 Km/h es de 3,16 s.

Si pasamos los 100 Km/h a m/s obtenemos una velocidad de 27,77 m/s.

$$\text{Con estos datos obtenemos una aceleracion de } a = \frac{27,77}{3,16} = 8,78 \text{ m/s}^2$$

$$F_{\text{motor inercia}} = m * a = 60 \text{ Kg} * 8,78 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 527,27 \text{ N}$$

**Fuerzas debidas al piloto**

$$F_{\text{peso piloto}} = m * g = 85 \text{ Kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 833,85 \text{ N}$$

$$F_{\text{piloto manillar}} = m * a = 85 \text{ Kg} * 8,78 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 746,89 \text{ N}$$

**Fuerza equivalente suspension trasera**

$$K_{\text{muelle}} = 105 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Recorrido del muelle = 25 mm

$$F_{muelle} = -Kx = -105 * 25 = -2625 \text{ N}$$

$$F_e = N' - F_{muelle} = 5258 - 2625 = 2633 \text{ N}$$

En la siguiente imagen podemos observar un resumen de las fuerzas que entran en el chasis.

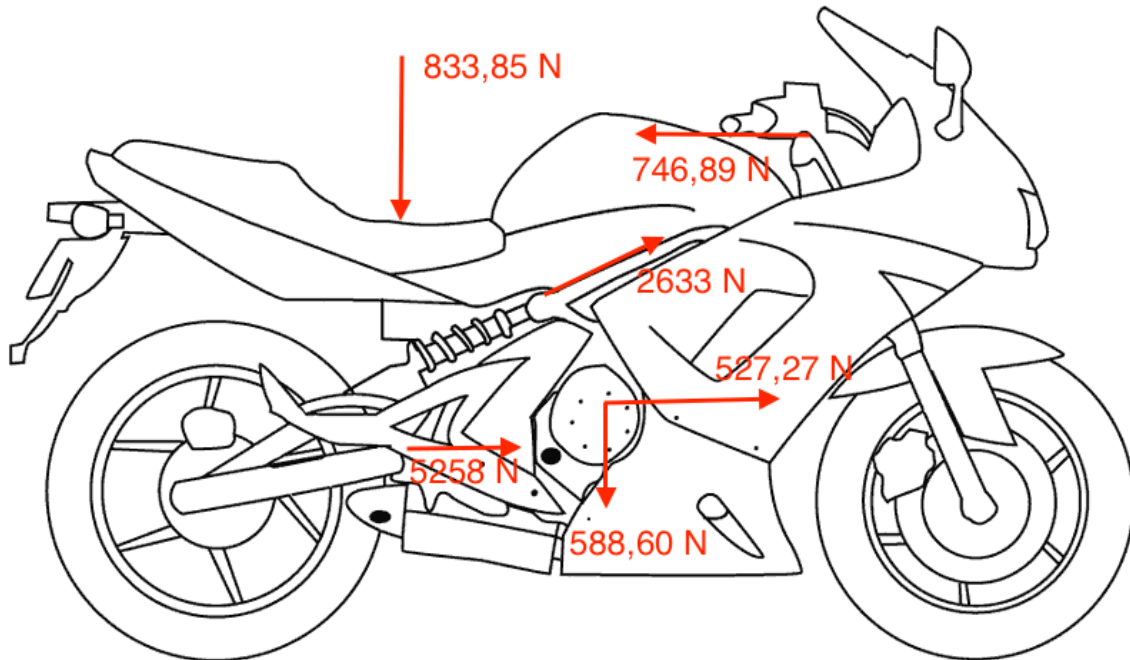


Figura 50 Resumen fuerzas entrada chasis caso aceleración

A continuación se muestran varias imágenes en las que se puede apreciar la introducción de las fuerzas calculadas anteriormente sobre el chasis modelado.

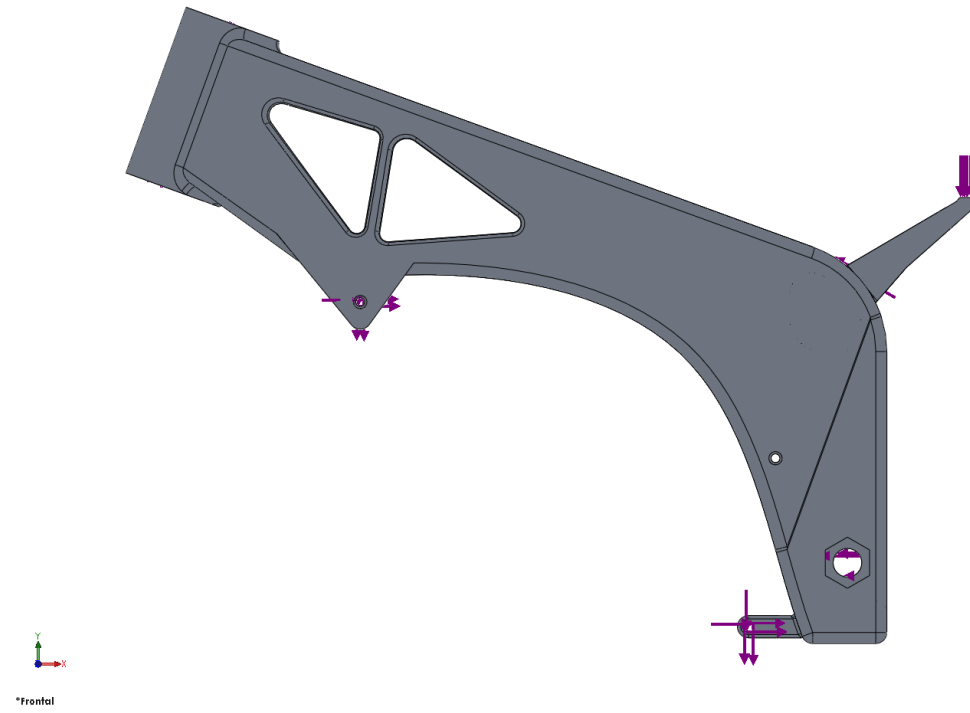


Figura 51 Vista frontal fuerzas aceleración

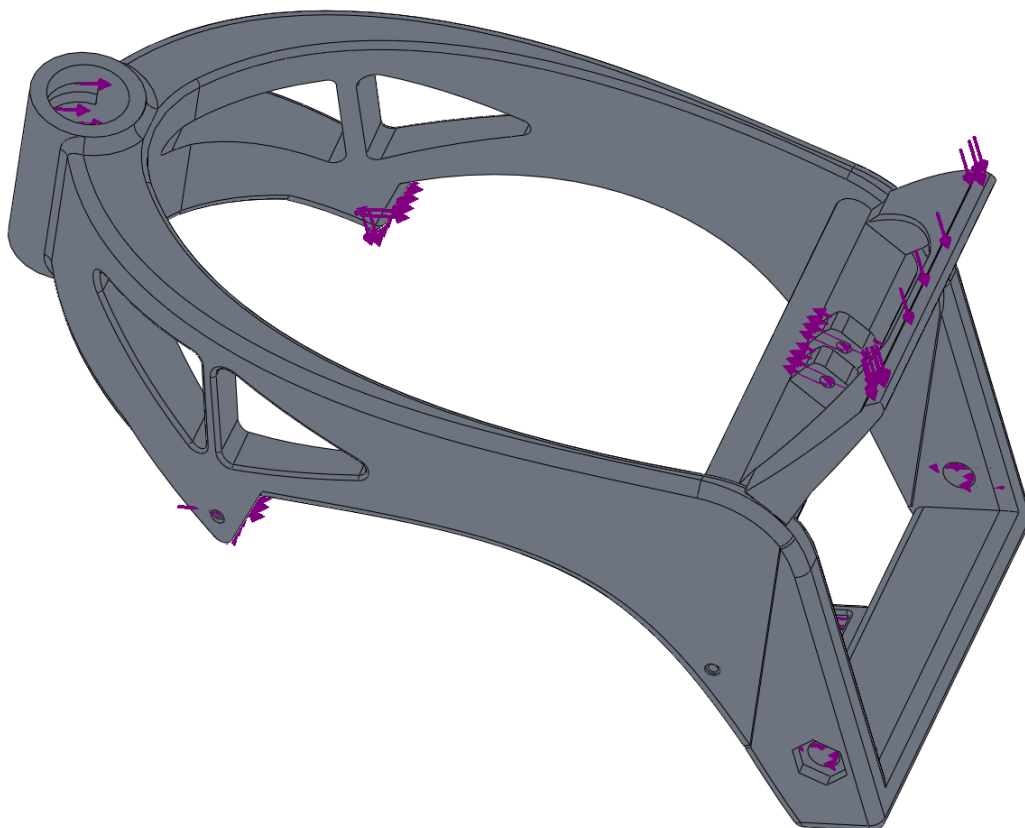


Figura 52 Vista fuerzas aceleración

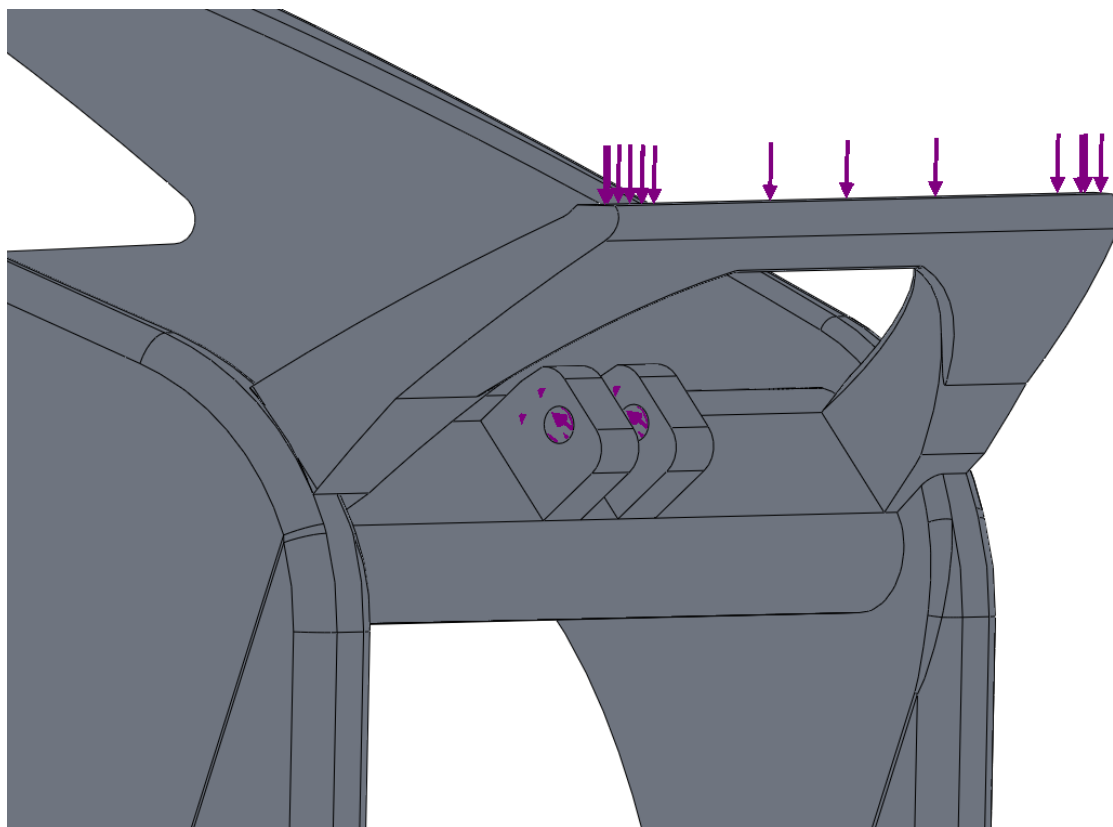


Figura 53 Vista detalle fuerzas suspensión y peso piloto

### 3.5.2 Caso frenada de 100-0 Km/h

En esta segunda hipótesis se procederá a calcular los esfuerzos sufridos por el chasis cuando realiza un frenada brusca de 100 km/h hasta que se detiene completamente la motocicleta. Al igual que en el caso anterior, nos situaremos en el caso más desfavorable posible, para ello supondremos que la transferencia de carga es del 100% al tren delantero, es decir, la rueda trasera no soportará ninguna carga y por tanto todo el peso del conjunto motocicleta-piloto, será soportado por el tren delantero. Debido a esto, el piloto ejercerá con todo su peso una fuerza sobre el manillar hacia delante, por lo que tendremos una entrada de fuerza horizontal en la pipa de dirección en el sentido en que circulábamos. En este caso, supondremos que el piloto realizará un movimiento similar al de la motocicleta por lo que en el momento de la frenada, dejará de apoyarse sobre el sillín y por tanto no existirá ninguna entrada de fuerza sobre la parte superior del chasis.

El motor, como se comentó en el caso anterior, se comporta como una masa suspendida que tiende a seguir el movimiento lineal que existía anteriormente a la frenada, por lo que en las sujeciones que abrazan al motor, se ejercerán dos fuerzas, una primera fuerza vertical y en dirección de la gravedad debida al peso de motor, y una segunda debida al peso del motor y a la fuerza que  $G$  que se ejerce sobre un cuerpo cuando frenamos. Como el objetivo del proyecto, es el modelado y simulación del chasis, no se ha podido llevar a cabo simulaciones reales que nos permitan cuantificar la fuerza  $G$  a la que se somete el modelo del proyecto. Por esto, he tomado como referencia los datos del siguiente gráficos de barras y para hacer un caso lo más restrictivo posible, he sobrevalorado a un valor 1,4  $G$  la fuerza de frenada, algo superior

a los modelos convencionales que encontramos en el mercado e inferior si comparamos con las fuerzas G que se obtienen en MotoGP.

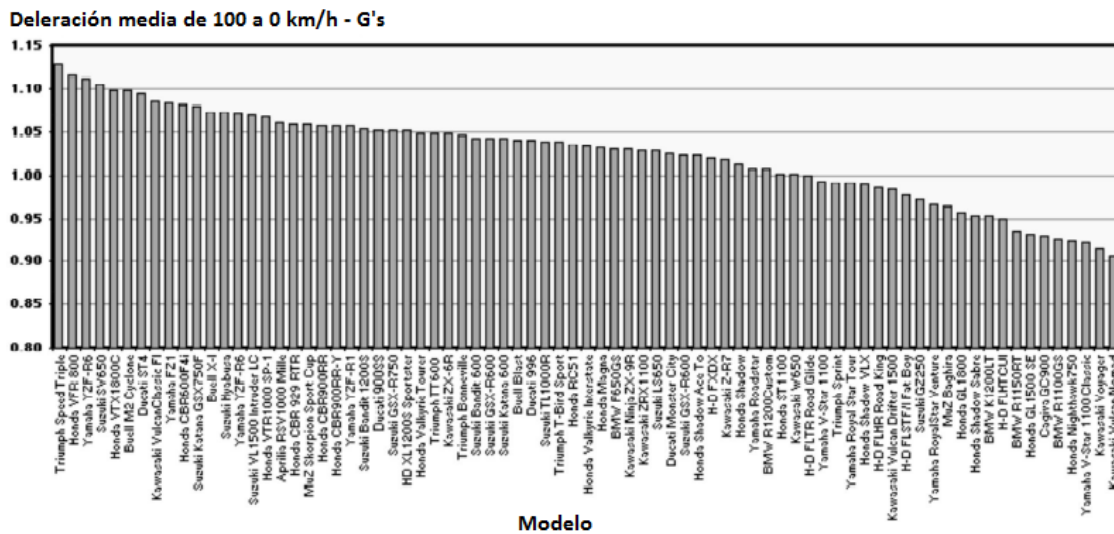


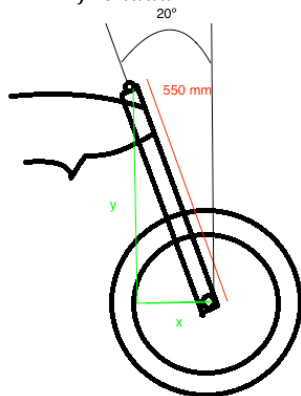
Gráfico 1 Diagrama de barras de fuerza G en frenada

Cuando frenamos, se da una fuerza de rozamiento entre el neumático y el asfalto, esto provoca la entrada al chasis de un momento en la pipa de dirección. Al mismo tiempo el peso del conjunto Motocicleta-piloto provocan una fuerza normal al asfalto, y que debido al ángulo de lanzamiento de la pipa de dirección, provoca la entrada en la pipa de dirección de un momento de sentido contrario al anterior, por lo que el momento obtenido será la resultante de la resta de los dos momentos. Además esa fuerza normal provocará una fuerza sobre la pipa de dirección paralela al eje de éste.

Al igual que en el caso anterior, se va a suponer que la suspensión delantera se comporta como un muelle, y que su constante elástica es de valor 90 N/mm.

$$F = P * g = 268 * 9,81 = 2629 \text{ N}$$

$$F_{frenada} = m * 1,4G * \mu = 268 \text{ Kg} * 1,4G * 0,5 = 1838,48 \text{ N}$$

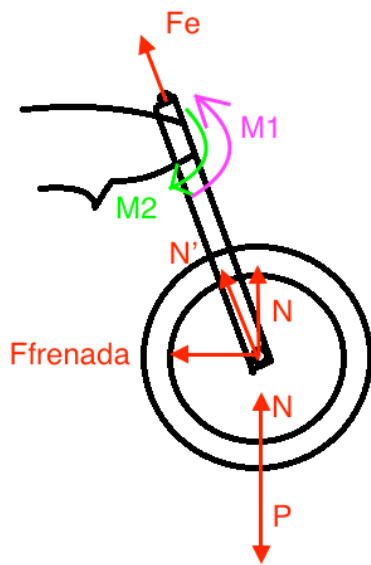


$$\cos 20^\circ = \frac{y}{0,55} = 0,5168 \text{ m}$$

$$\text{sen}20^\circ = \frac{x}{0,55} = 0,188 \text{ m}$$

Figura 54 Geometría tren delantero



**Fuerzas debidas al tren delantero**

$$N' = \frac{N}{\sin 20^\circ} = 7686,68 \text{ N}$$

Recorrido estimado del muelle 50mm

$$F_{\text{muelle}} = -Kx = -90 \frac{\text{N}}{\text{mm}} * 50\text{mm} = -4500 \text{ N}$$

$$F_e = 7686,68 \text{ N} - 4500 \text{ N} = 3186,68 \text{ N}$$

Figura 55 Fuerza y momentos en el tren delantero

$$M1 = N * x = 2629 \text{ N} * 0,188\text{m} = 494,25 \text{ Nm}$$

$$M2 = F_{\text{frenada}} * y = 1838,48 \text{ N} * 0,5168 = 950,12 \text{ Nm}$$

$$M_{\text{TOTAL}} = M2 - M1 = 950,12 \text{ Nm} - 494,25 \text{ Nm} = 455,87 \text{ Nm}$$

**Fuerzas debidas al motor**

$$P = m * g = 60 \text{ Kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 588,60 \text{ N}$$

$$F_{\text{movimiento}} = 60 \text{ Kg} * 1,4G = 823,20 \text{ N}$$

**Fuerzas debidas al piloto**

$$F_{\text{manillar}} = m * 1,4G = 85 \text{ Kg} * 1,4G = 1166,2 \text{ N}$$

Como se comentó anteriormente no existe la fuerza debida al peso del piloto sobre la parte superior del chasis.

En la siguiente imagen podemos observar el resumen de la entrada de fuerzas y momentos sobre el chasis.

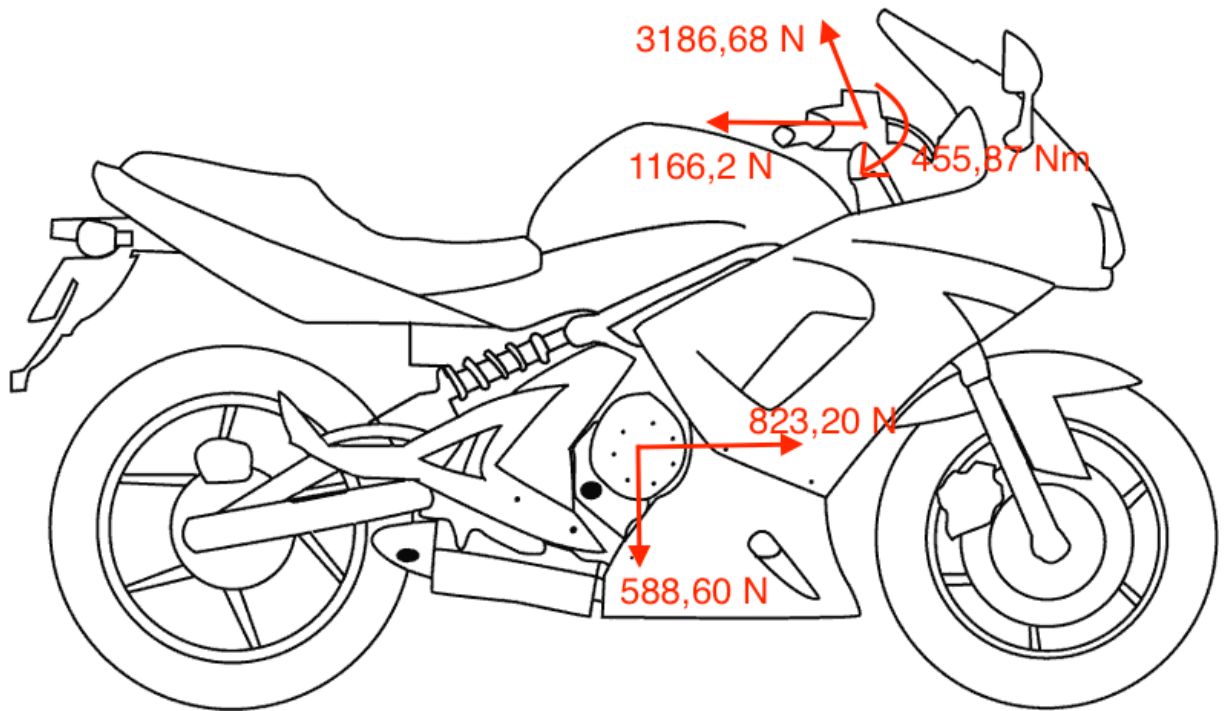


Figura 56 Resumen fuerzas entrada chasis caso frenada

A continuación se adjuntan las imágenes correspondientes a las fuerzas debidas a la frenada calculada anteriormente y su introducción sobre el chasis modelado.

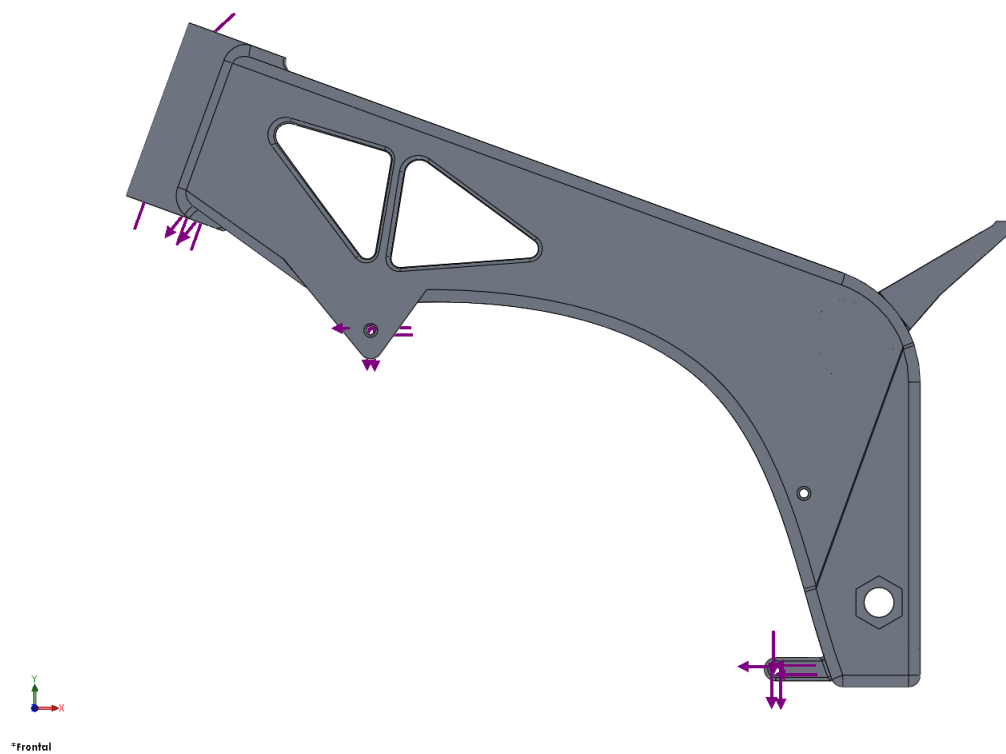


Figura 57 Vista frontal fuerzas frenada

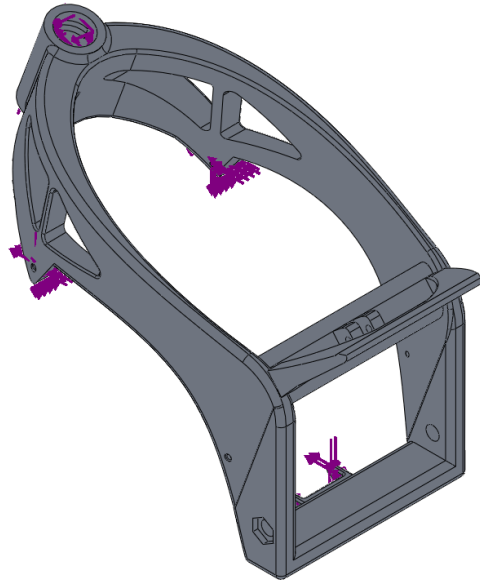


Figura 58 Vista isometrica fuerzas frenada

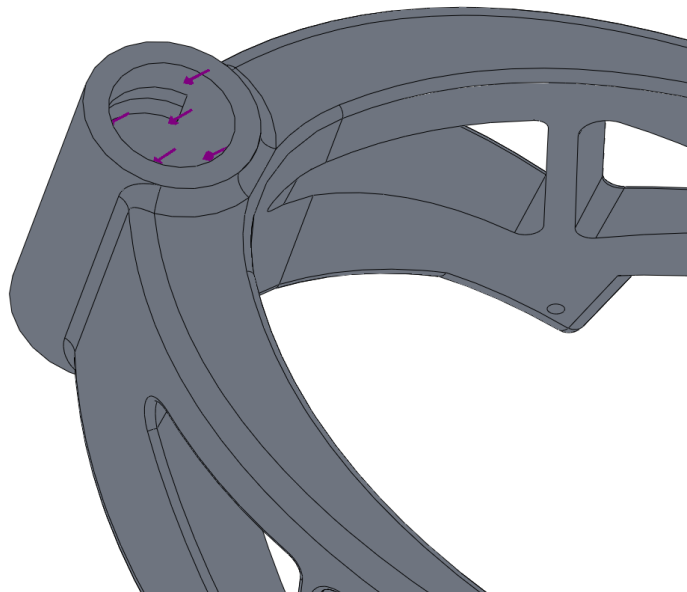


Figura 59 Vista detalle Momento frenada

### 3.5.3 Caso paso por curva

En éste último caso se simulará el paso por curva de una motocicleta, para ello, lo primero será determinar las condiciones dinámicas en las que se encontrará la motocicleta en el momento de la curva. Al igual que los casos anteriores trabajaremos en el caso más desfavorable, por ésto se ha determinado que la motocicleta circulará a la máxima velocidad que puede circular un vehículo por limitación, que son 250 Km/h y lo hará por una curva pasando a 50 grados de inclinación, un valor de paso normal para tomar cualquier curva convencional. A partir de estos datos, en los siguiente gráficos se obtendrá el radio de curvatura de la curva por la que circulará la motocicleta, así como la fuerza centrífuga a la que será sometida.

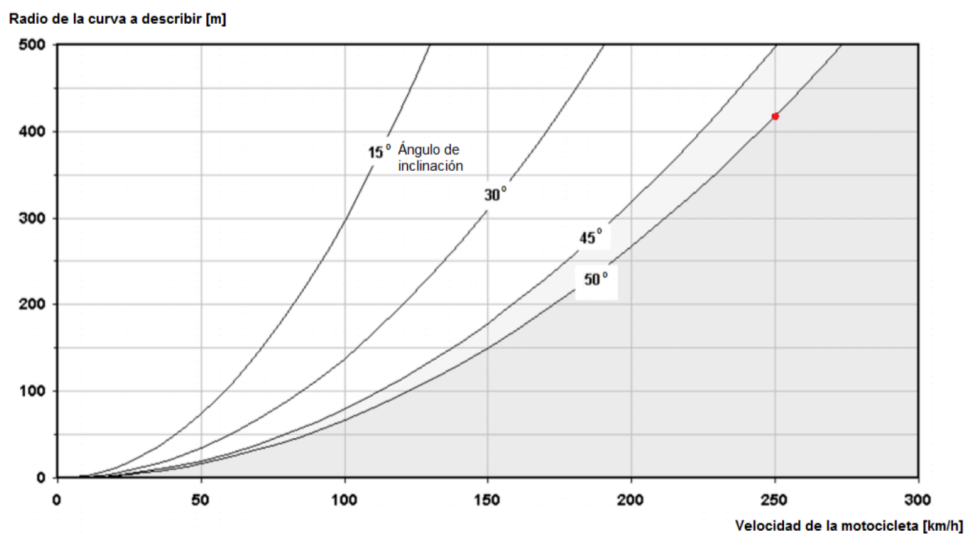


Gráfico 2 Curvas para determinar el radio de curvatura

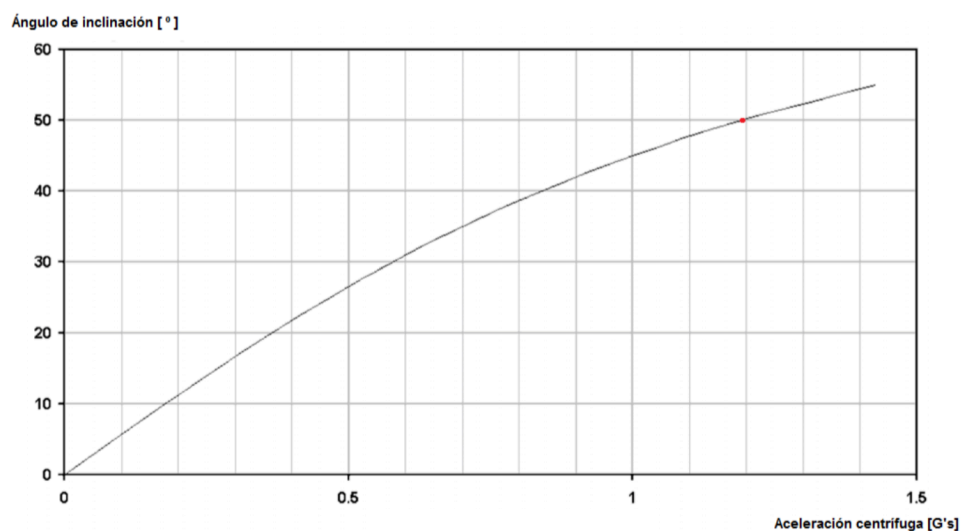


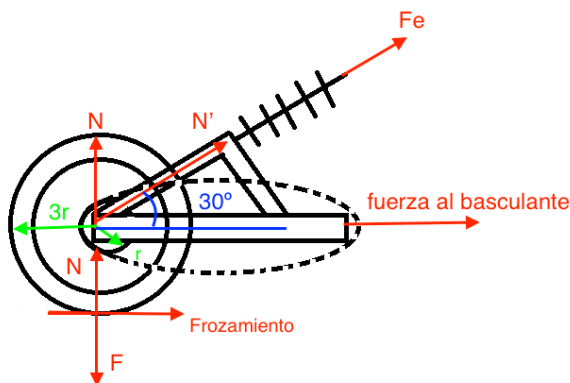
Gráfico 3 Curva para determinar la aceleración centrífuga

Podemos observar como los puntos rojos sobre las curvas determinan que el radio de curvatura será 420 m y que la fuerza centrífuga a la que será sometida la motocicleta durante el paso por curva será de 1,2 G.

Una vez determinadas las condiciones de paso por curva, en esta última hipótesis vamos a calcular los esfuerzos que sufrirá el chasis cuando realiza un paso por curva. Para ello supondremos que la transferencia de carga es del 50% al tren delantero y 50% al tren trasero, es decir, todo el peso del conjunto motocicleta-piloto estará repartido en las dos ruedas. Debido a esto, el piloto no ejercerá ninguna fuerza sobre el manillar hacia delante, pero sí que tendremos una entrada de fuerza vertical sobre la parte superior del chasis. Además el piloto sufrirá la aceleración centrípeta que es la encargada de atraer el piloto hacia el eje sobre el que gira, por tanto la parte superior del chasis recibirá esa fuerza y habrá una entrada de fuerza perpendicular al chasis.

Por otra parte, el motor ejercerá una fuerza debida a su peso en sentido de la gravedad, además estará sometido a la fuerza centrífuga que lo mueve hacia el eje de giro, por lo que al igual que el piloto habrá una fuerza perpendicular al chasis en dirección el eje de giro.

$$F = P * g = 268 * 9,81 = 2629 N$$



$$P = \frac{m * g}{2} = \frac{268 Kg * 9,81}{2} = 1314,5 N$$

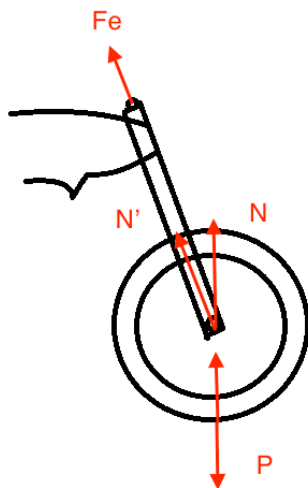
$$N = P$$

$$N' = \frac{N}{\text{sen}30^\circ} = 2629 N$$

Figura 60 Fuerza tren trasero paso por curva

$$F_{muelle} = -Kx = -105 \frac{N}{mm} * 12,5 = 1312,5 N$$

$$F_e = N' - F_{muelle} = 2629 N - 1312,5 N = 1316,5 N$$



$$P = 1314,5 N$$

$$N' = \frac{N}{\text{sen}20^\circ} = 3843,34 N$$

$$F_{muelle} = -Kx = 90 \frac{N}{mm} * 50 mm = -2250 N$$

$$F_e = N' - F_{muelle} = 3842,34 N - 2250 N = 1593,34 N$$

Figura 61 Fuerzas tren delantero paso por curva

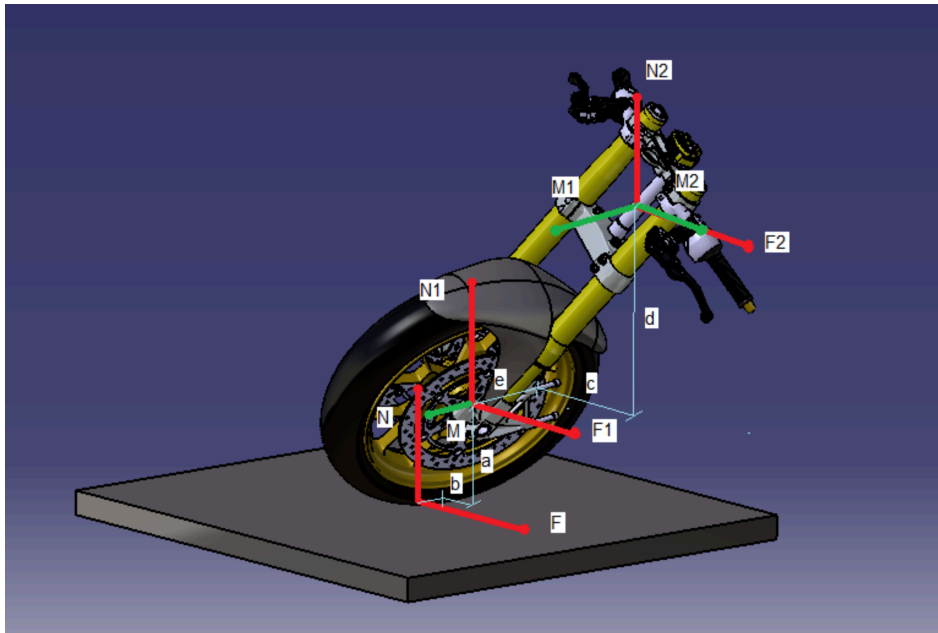


Figura 62 Fuerzas y momentos tren delantero paso por curva

Las cotas para el cálculo de los momentos y fuerzas han sido tomadas de una motocicleta domestica Ducati 750 SS

- a = 0,210m
- b = 0,176m
- c = 0,332m
- d = 0,395m
- e = 0,188m

Una vez tenemos las cotas, a continuación se calcularán las fuerzas y momentos que se observa en la figura 63.

$$F = \frac{v^2 * m}{r} = \frac{69,44^2 m}{s} * 268 Kg}{420m} = 3076,84 N$$

$$F = F1 = 3076,84 N$$

$$N = 1314,5 N$$

$$N1 = N = 1314,5 N$$

$$N2 = F_e = 1593,34 N$$

$$F2 = F1 = 3076,84 N$$

$$M1 = [(F1 * d) + (N1 * c)] = 1654,35 N$$

$$M2 = (N1 * e) = 246,97$$

**Fuerzas debidas al motor**

$$P = m * g = 60Kg * 9,81 = 588,60 N$$

$$F_{centripeta} = m * \frac{v^2}{r} = 60Kg * \frac{69,44^2 \frac{m}{s}}{420m} = 688,84 N$$

**Fuerzas debidas al piloto**

$$P = m * g = 85Kg * 9,81 = 833,85 N$$

$$F_{centripeta} = m * \frac{v^2}{r} = 85Kg * \frac{69,44^2 \frac{m}{s}}{420m} = 975,86 N$$

Una vez realizados todos los cálculos, a continuación se muestran unas imágenes de la entrada de fuerza sobre el modelo de chasis

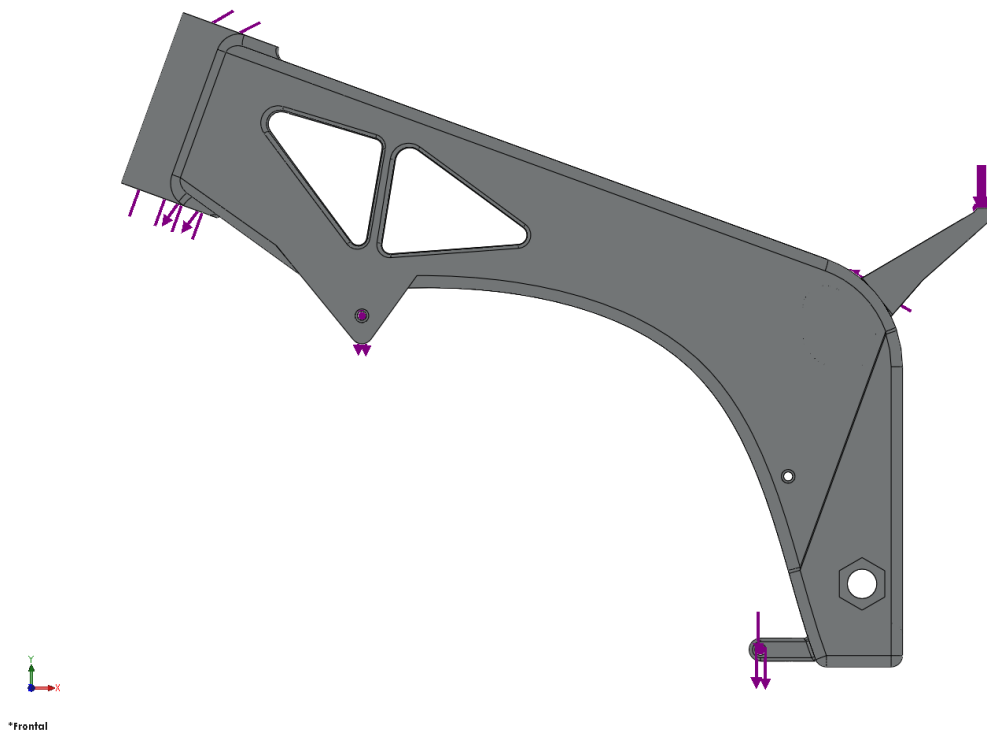


Figura 63 Vista frontal fuerza paso por curva

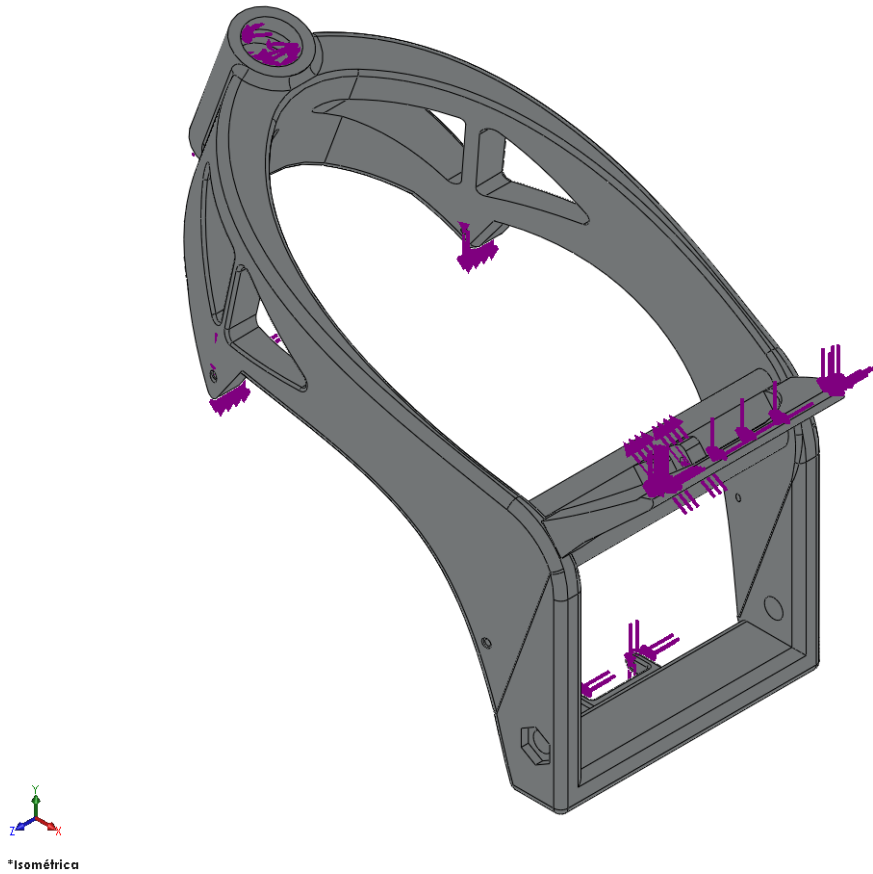


Figura 64 Vista isométrica paso por curva

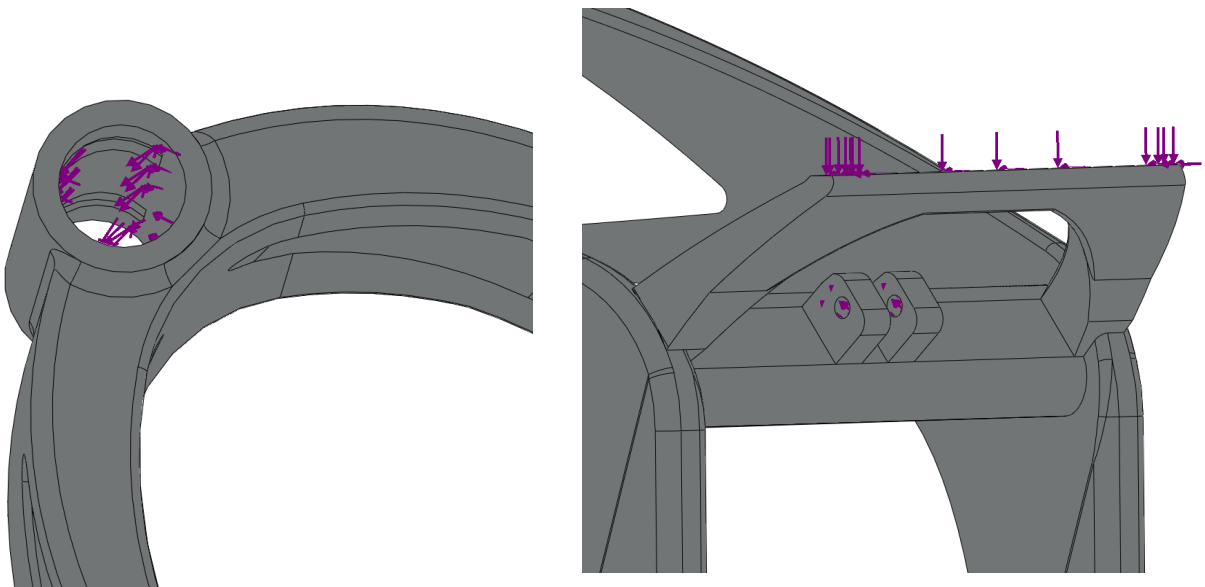


Figura 65 Detalle fuerzas pipa dirección y parte superior chasis paso por curva



## 4. Resultados Obtenidos

En este apartado se muestran los resultados obtenidos tras las simulaciones de los casos realizados. Hay 3 factores claves en los que se basa el estudio, como son las tensiones máximas según Von Mises, los desplazamientos unitarios, y las deformaciones máximas.

### 4.1 Resultados caso aceleración

#### Tensión máxima

La tensión máxima que soporta el chasis tiene un valor de  $3,756 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$ .

La tensión máxima se encuentra situada en la parte inferior del chasis, justo en el anclaje inferior del motor y zona por donde sitúa el eje del basculante, por lo que tiene lógica que a la hora de producirse una aceleración brusca, el motor de gran peso recibe una gran aceleración que provoca un gran esfuerzo sobre el anclaje, además justo en esa zona se encuentra el elemento que une la rueda motriz con el chasis por lo tanto tiene lógica que sea el que reciba mayores esfuerzos que el resto.

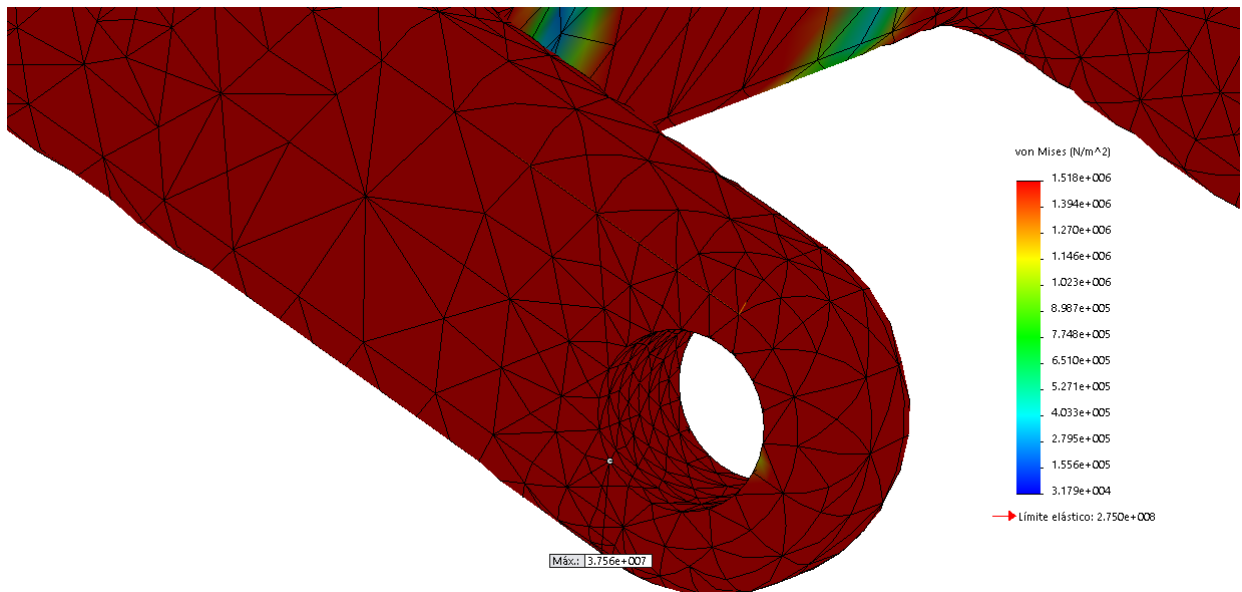


Figura 66 Nodo de máxima tensión aceleración

En las siguientes imágenes podemos observar el aspecto tensional existente a lo largo de todo el chasis, en la que se puede observar como afectan en el chasis los esfuerzos simulados. Se puede observar que las tensiones son simétricas en ambos lados del chasis debido a la simetría del mismo.

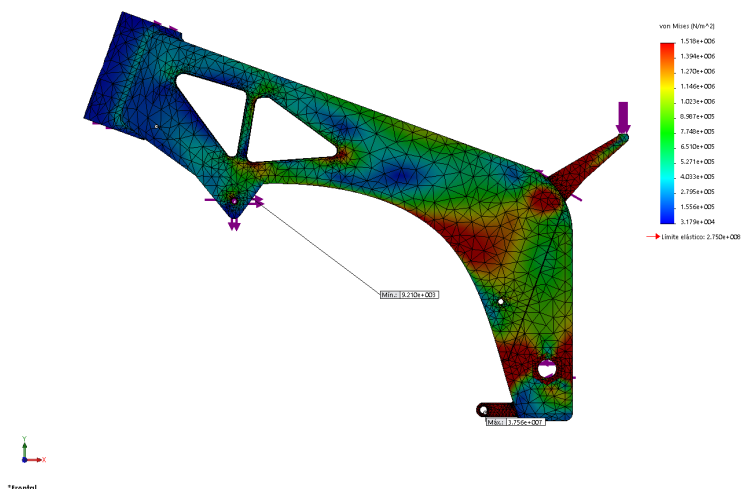


Figura 67 Vista frontal de las tensiones durante la aceleración

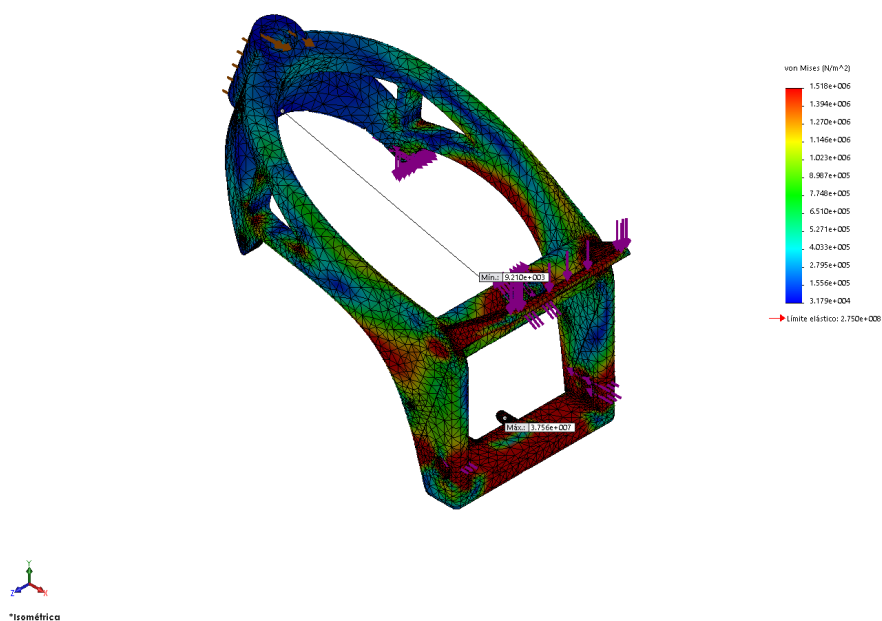


Figura 68 Vista isométrica de las tensiones durante la aceleración

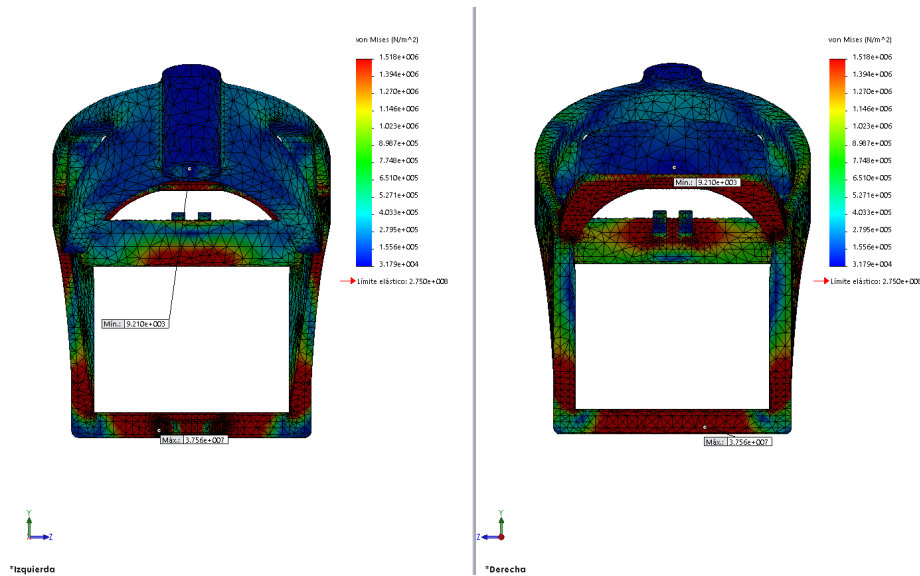


Figura 69 Vista frontal y trasera de las tensiones durante la aceleración

### Desplazamiento máximo

El desplazamiento máximo que soporta el chasis es de  $1,250 \cdot 10^{-4}$  m.

El desplazamiento máximo se encuentra en la parte superior del chasis, sobre la zona donde el piloto apoya todo su peso. Se trata del elemento del chasis con menos sección, por lo que tiene sentido que ante una fuerza de cierta envergadura, el elemento portante sufra desplazamientos máximos.

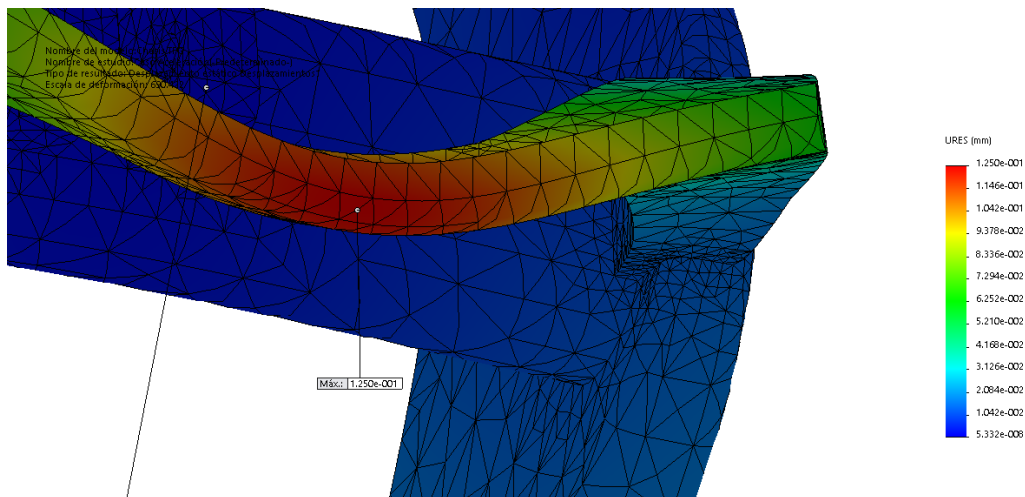


Figura 70 Nodo de máximo desplazamiento aceleración

Podemos observar en la siguientes imágenes como se comporta el chasis a los diferentes esfuerzos. Se puede observar como los desplazamientos son de valor mínimo, por tanto nos está informando que se trata de un chasis de una gran rigidez y que por lo tanto será capaz de resistir las fuerzas a las que será sometido.

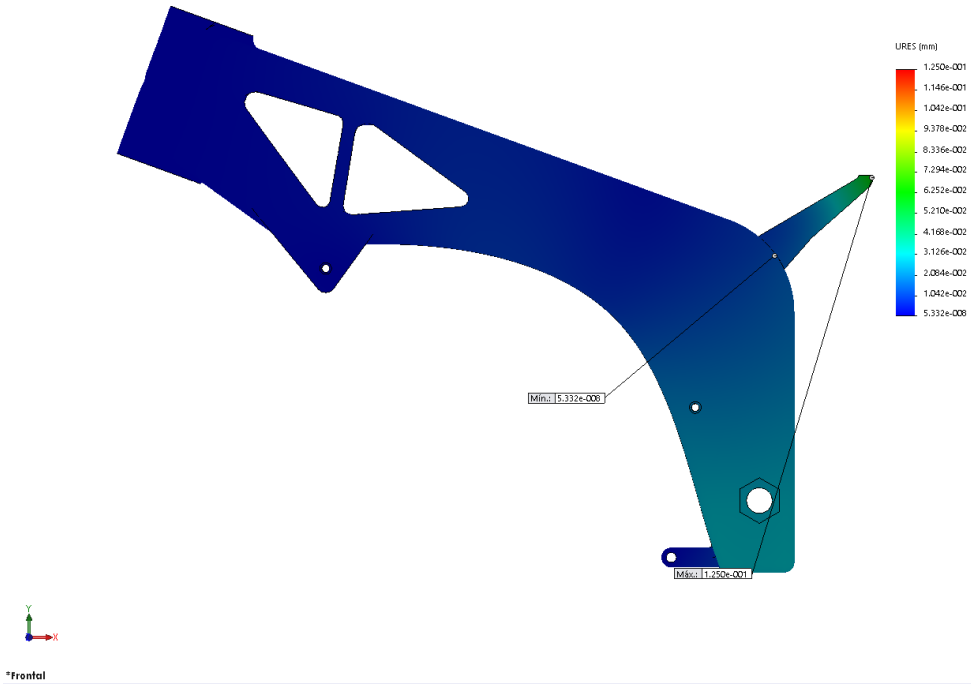


Figura 71 Vista frontal de los desplazamientos máximos aceleración

La convergencia de colores nos permite ver de forma clara, como la parte delantera del chasis donde se encuentra la pipa de dirección, toma un color azul, por lo que está sometida a un bajo desplazamiento. Por el contrario la parte superior del chasis sube por la escala de colores, informando que sufre mayores desplazamientos.

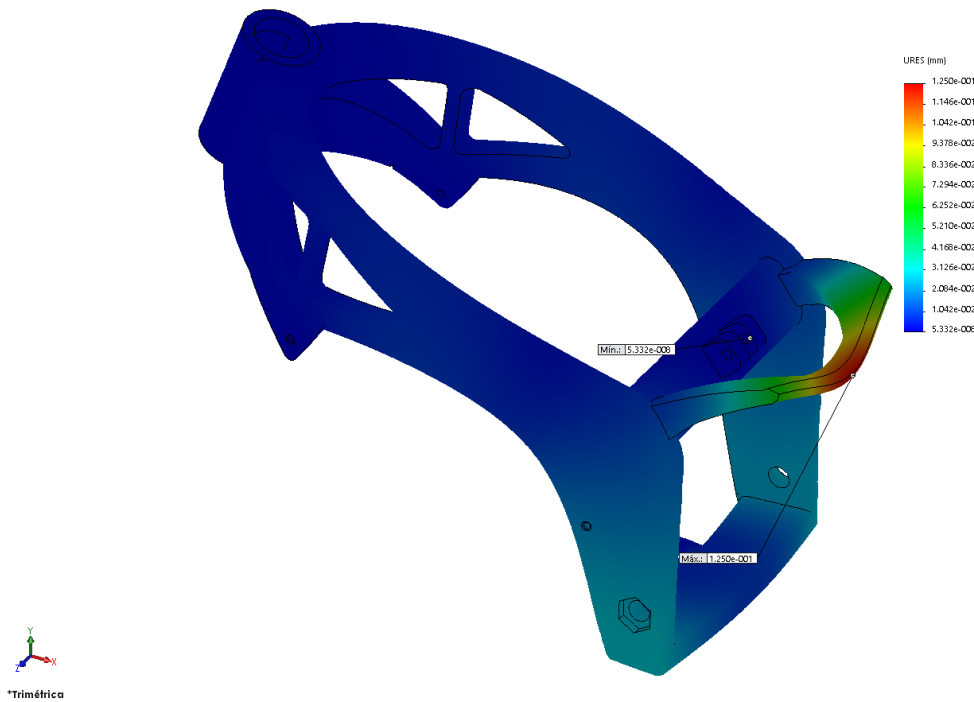


Figura 72 Vista trimétrica de los desplazamientos máximos aceleración

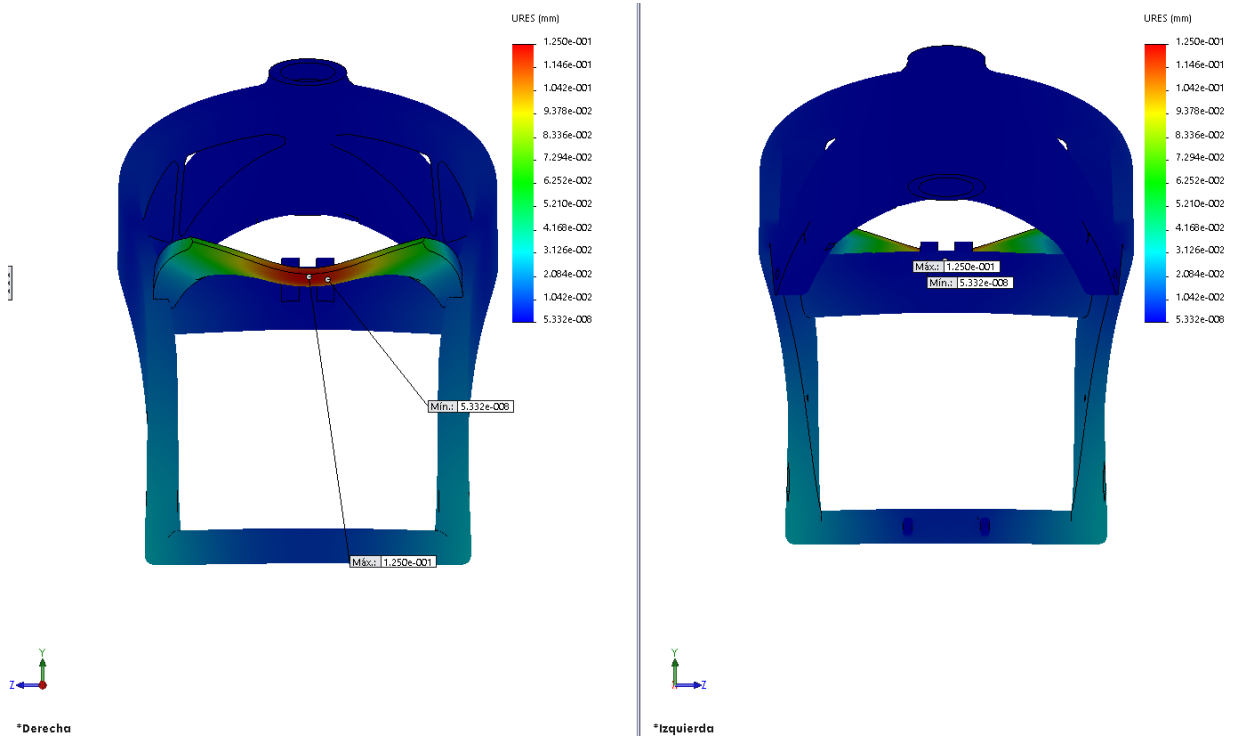


Figura 73 Vistas derecha e izquierda de los desplazamientos máximos aceleración

### Deformación unitaria

La deformación unitaria máxima que soporta el chasis es de  $4,327 \cdot 10^{-7} \text{m}$ .

El nodo de deformación máxima se sitúa en la parte inferior del chasis, en el anclaje del motor, por lo que coincide con el nodo de máxima tensión. Esto tiene su lógica, ya que el nodo que recibe mayor tensión sufra la deformación unitaria máxima debido a esa tensión.

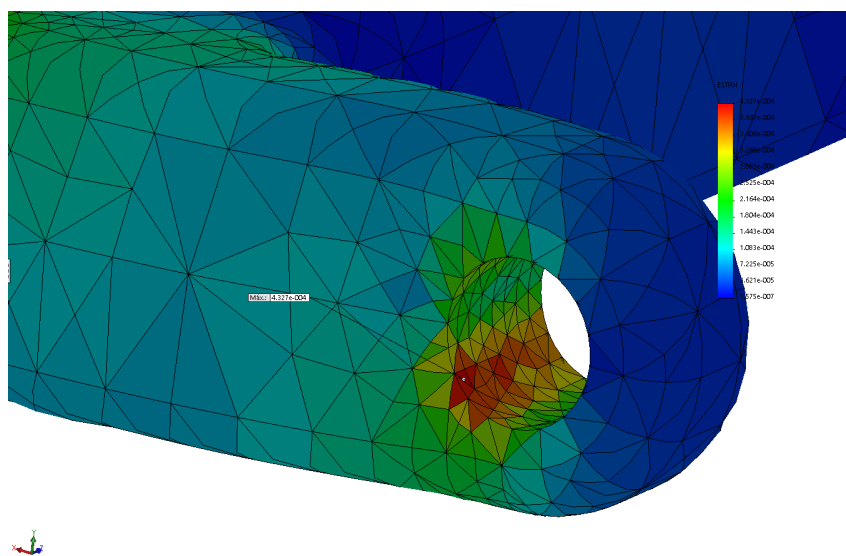


Figura 74 Nodo de máxima deformación unitaria aceleración

Los esfuerzos provocados por el motor en los anclajes, provocan la tensión máxima y por tanto la máxima deformación unitaria. A continuación se muestran varias imágenes de las deformaciones unitaria que sufre el chasis.

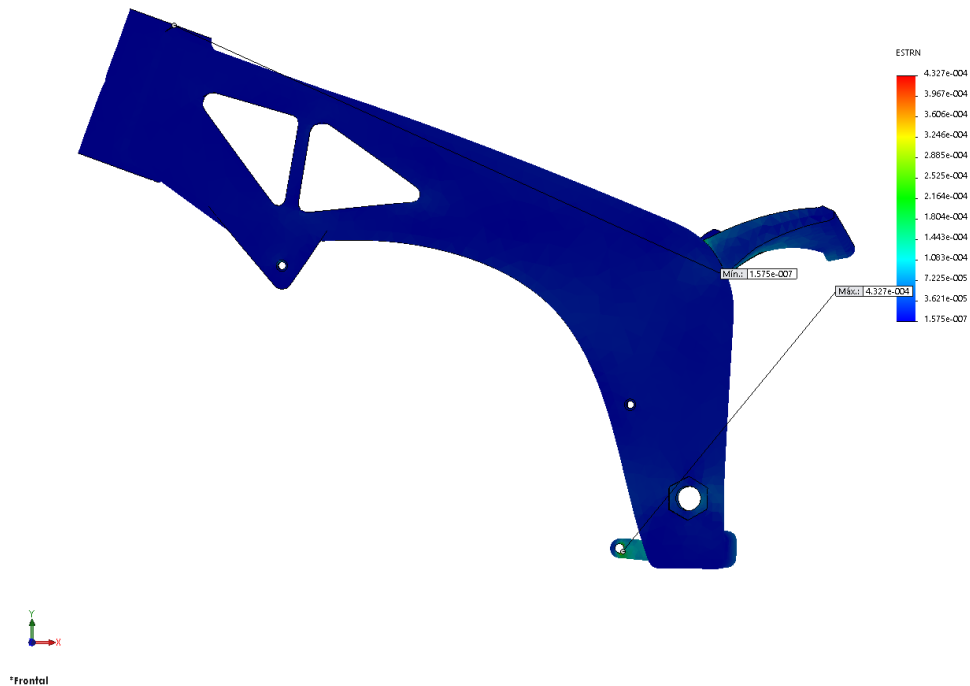


Figura 75 Vista frontal de las deformaciones unitarias aceleración

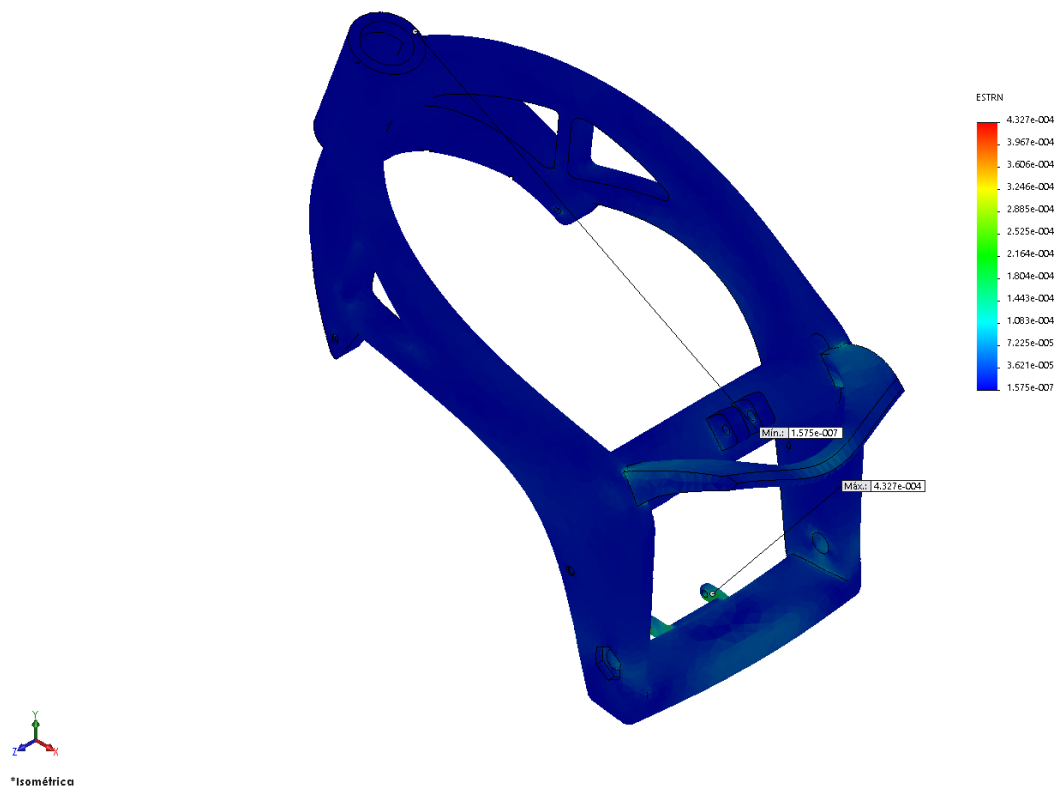


Figura 76 Vista isométrica de las deformaciones unitarias aceleración

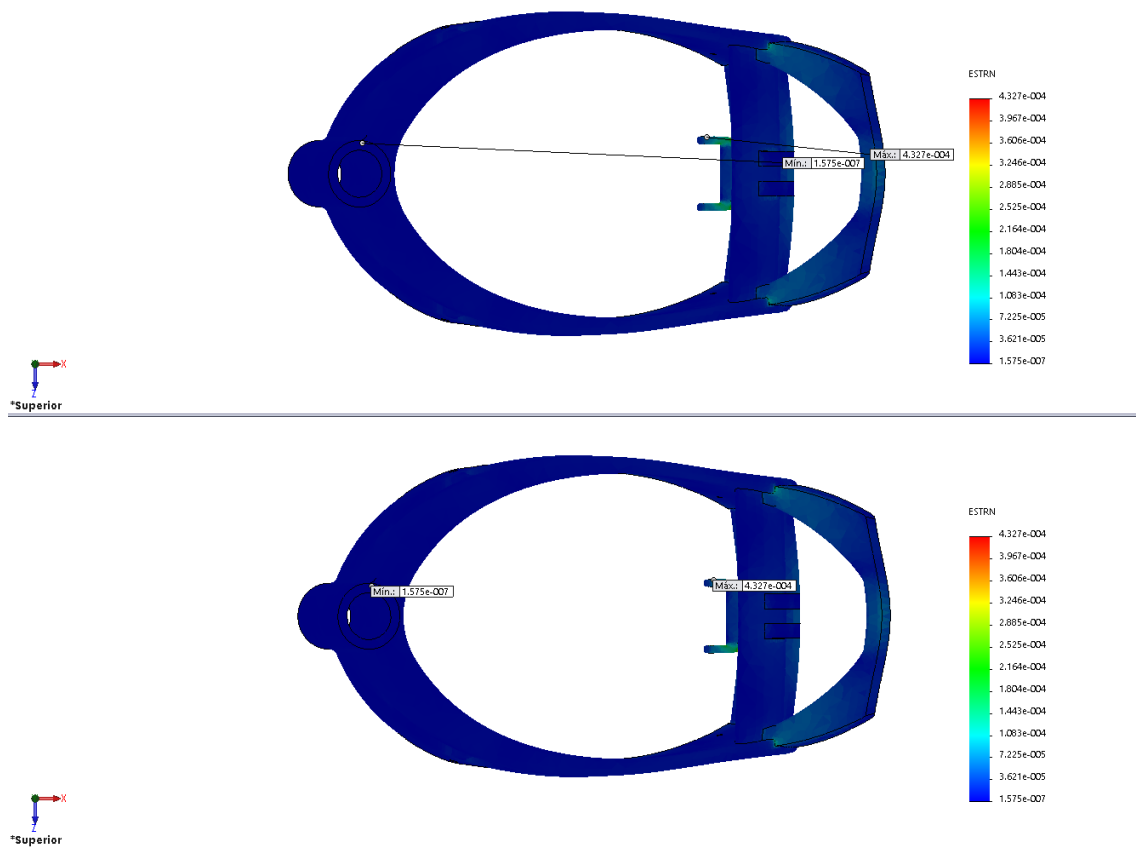


Figura 77 Vistas superior e inferior de las deformaciones unitarias aceleración

## 4.2 Resultados caso frenada

### Tensión máxima

La tensión máxima que soporta el chasis tiene un valor de  $5,346 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$ .

El nodo de máxima tensión se sitúa en la parte delantera del chasis, justo en la pipa de dirección. Tiene sentido que se encuentre en este punto, ya que aquí se concentran las fuerzas producidas por el piloto, el momento generado por la frenada, y la fuerza paralela al eje de dirección procedente del tren delantero.

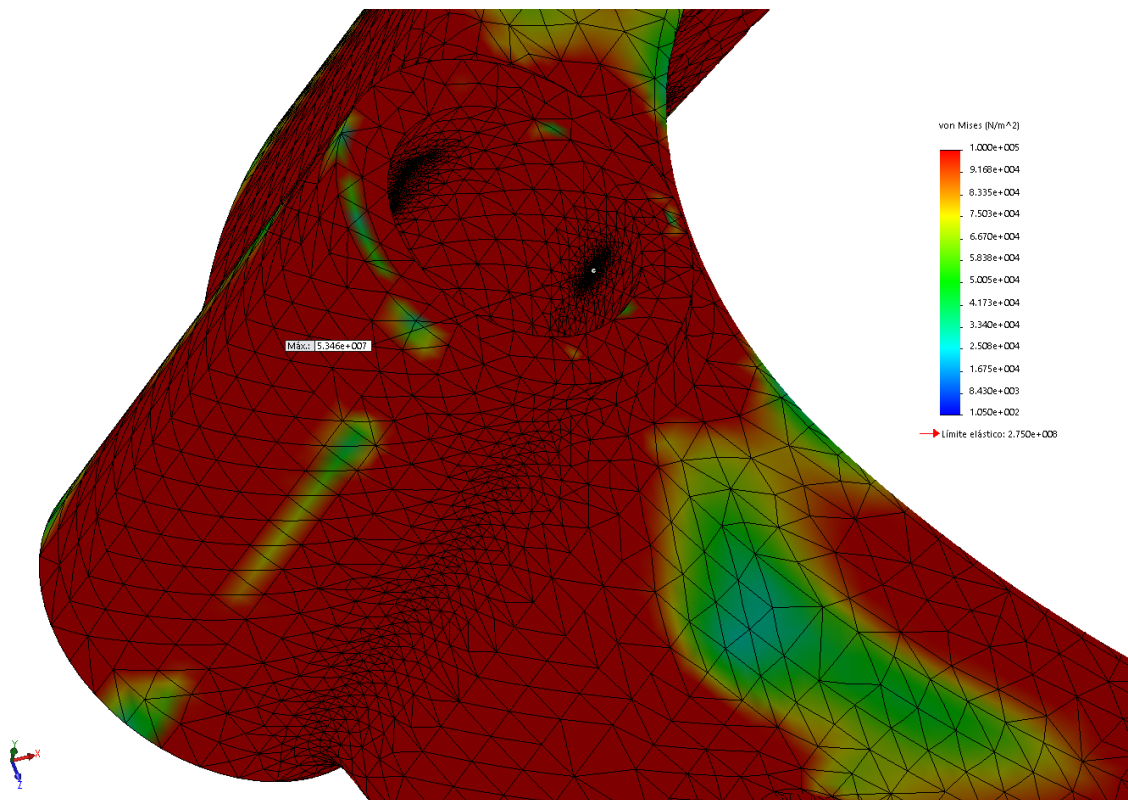


Figura 78 Nodo de máxima tensión frenada

Al tratarse de una frenada brusca todos los esfuerzos se agrupan en la parte delantera del chasis, el motor ejerce su fuerza para seguir el sentido de la marcha, mientras que la pipa de dirección es la encargada de recibir la mayoría de esfuerzos. Por otro lado se puede observar en la siguiente imágenes la convergencia de colores respecto de las tensiones en la que se ve claramente como la zona del eje del basculante en esta ocasión no recibe grandes tensiones comparadas con el caso anterior de aceleración.



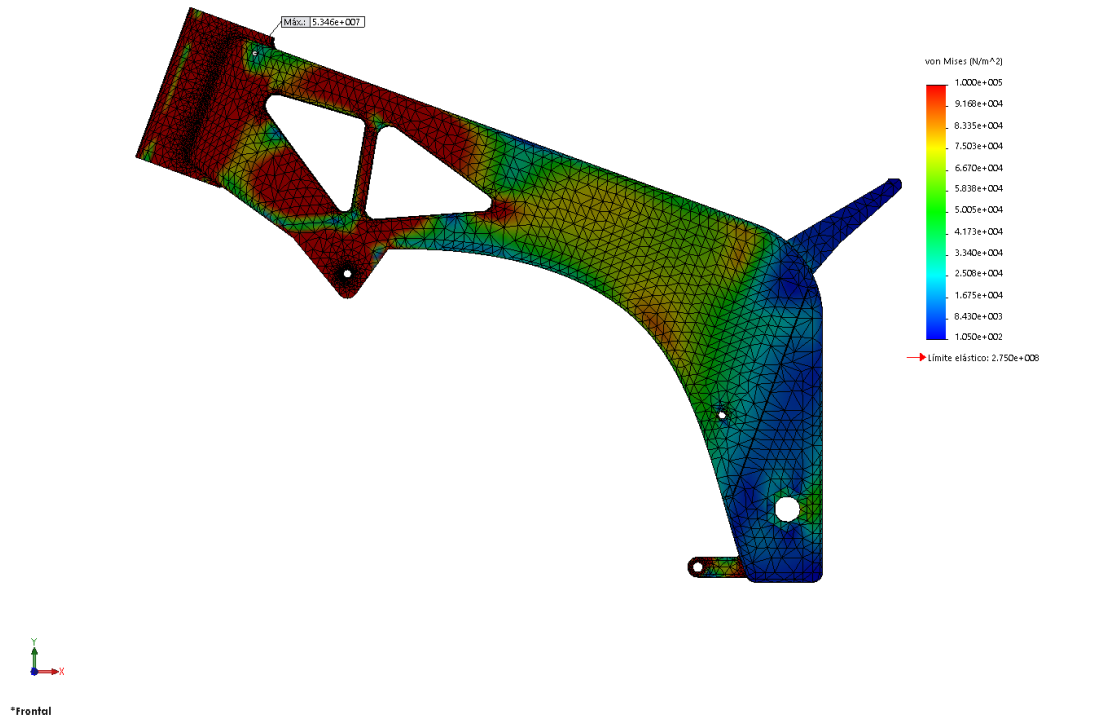


Figura 79 Vista frontal tensiones máximas en frenada

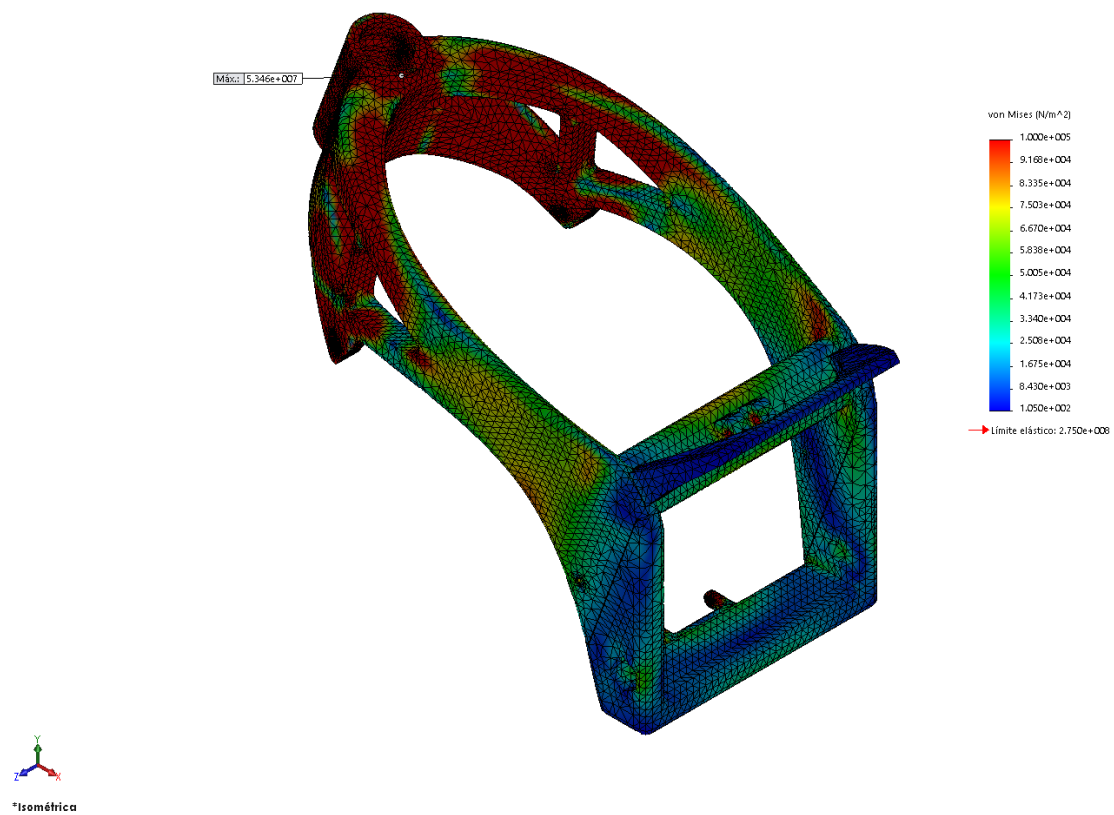


Figura 80 Vista isométrica de las tensiones máximas en frenada

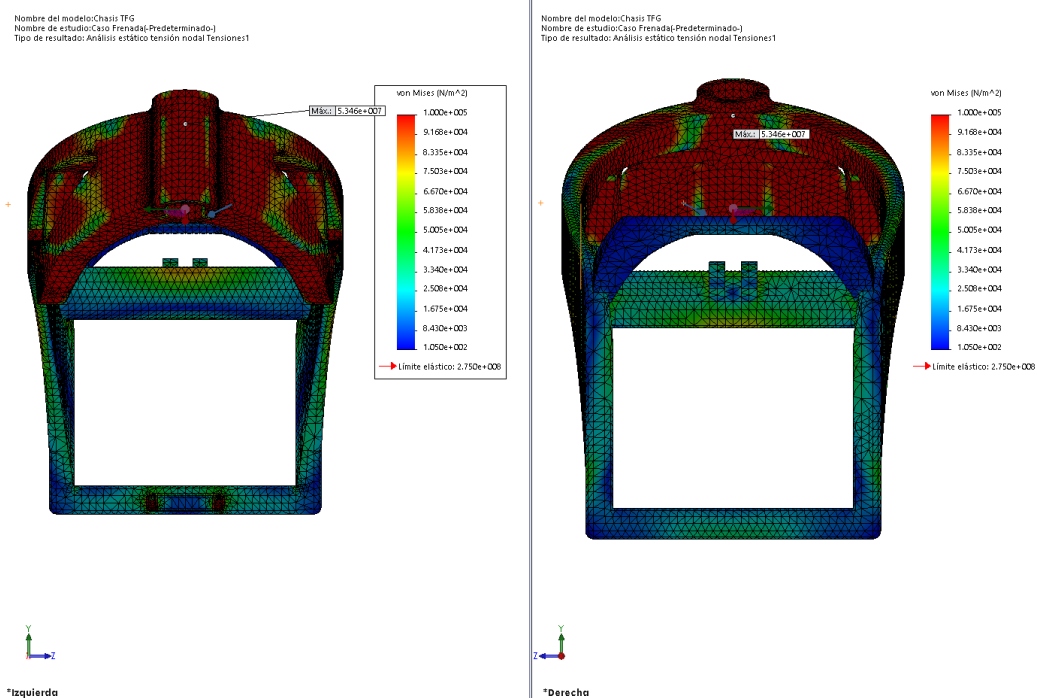


Figura 81 Vista delantera y trasera de las tensiones máximas en frenada

**Desplazamientos máximos**

El desplazamiento máximo tiene un valor de  $3,788 \cdot 10^{-6}m$ .

El nodo de desplazamiento máximo se encuentra situado en la parte delantera del chasis, justo en la parte superior de la pipa de dirección. Al igual que en la tensiones máximas, este valor tiene sentido, ya que aquí es donde se concentran todos los esfuerzos y por tanto, es lógico pensar que será la zona donde mayor desplazamiento encontraremos.

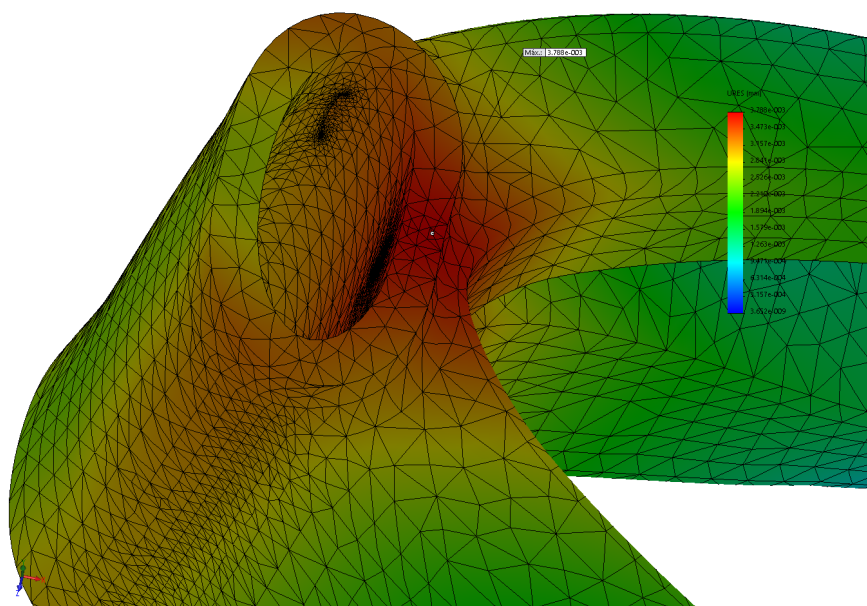


Figura 82 Nodo de desplazamiento máximo en frenada

Como se puede observar en la imagen, el desplazamiento respecto al resto del chasis es grande, por eso el programa deforma la pipa de dirección escalando el resultado obtenido respecto del total del chasis. Hay que tener en cuenta que realmente el valor es pequeño y que a la vista del ser humano sería prácticamente imperceptible. A continuación se adjunta diferentes imágenes de los desplazamientos.

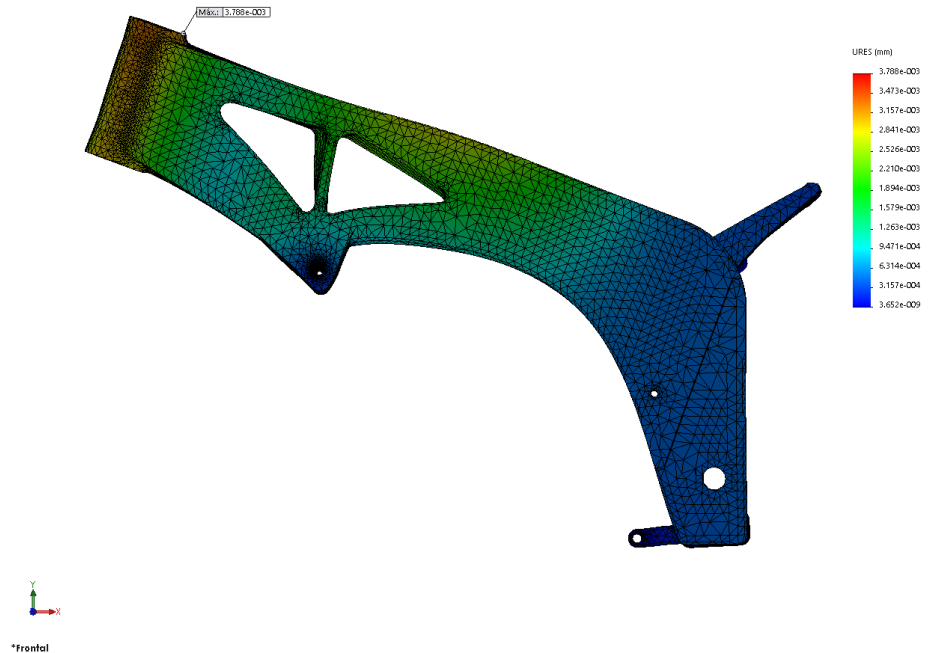


Figura 83 Vista frontal desplazamientos en frenada

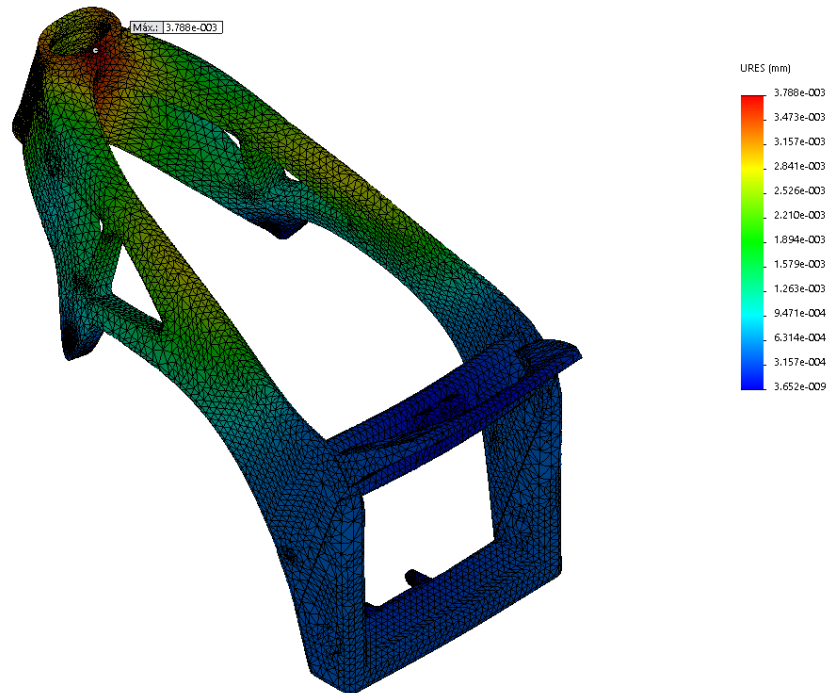


Figura 84 Vista isométrica desplazamientos en frenada

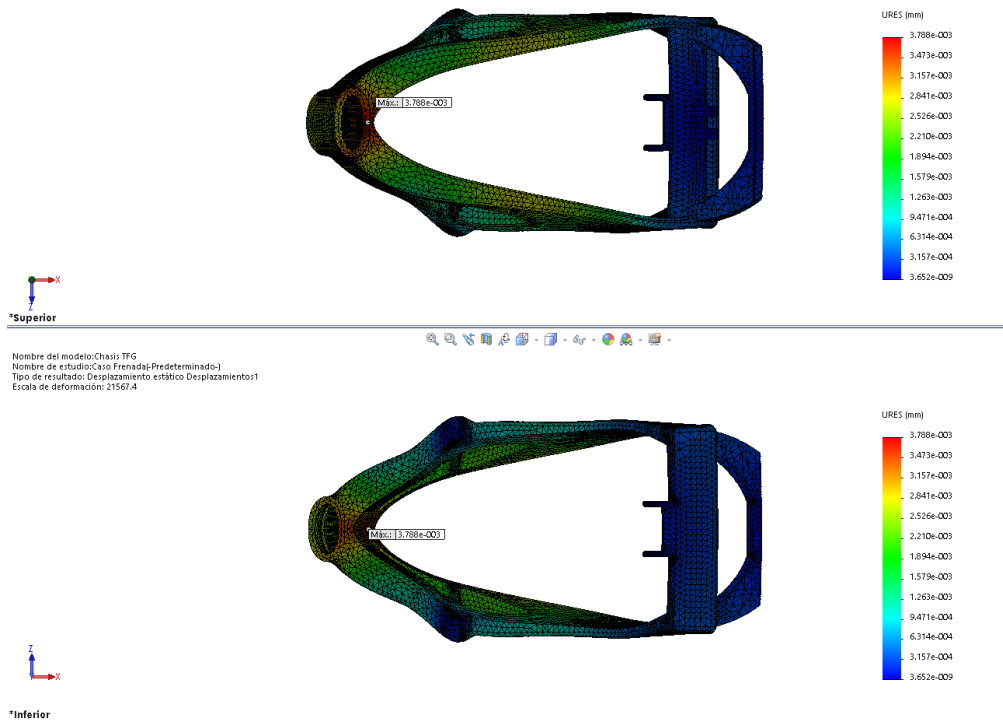


Figura 85 Vista superior e inferior desplazamientos en frenada

**Deformaciones Unitarias**

La deformación unitaria máxima tiene un valor de  $4,516 \cdot 10^{-7}$  m.

El nodo de máxima deformación unitaria se encuentra en la pipa de dirección, coincidiendo además con el nodo de máxima tensión. Como ya se ha comentado anteriormente tiene sentido que el elemento que reciba mayores tensiones sea el que mayores deformaciones sufra, y la pipa de direcciones donde se acumulan todos los esfuerzos.

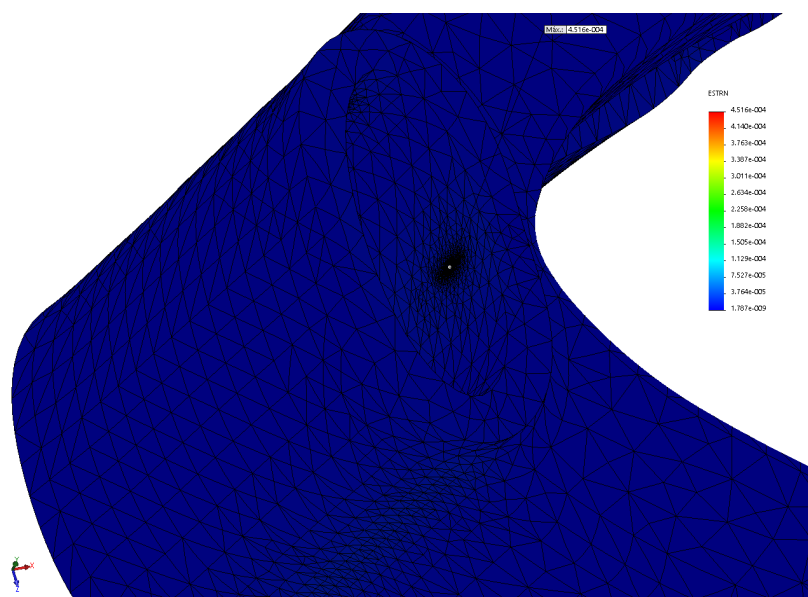


Figura 86 Nodo de máxima deformación unitaria en frenada

El color azul del chasis ya nos hace ver que se trata de un modelo con poca deformaciones, por lo que nos deja entre ver que se trata de un chasis rígido que será capaz de soportar los esfuerzos a los que se verá sometido. A continuaciones se pueden observar diferentes vistas de las deformaciones unitarias.

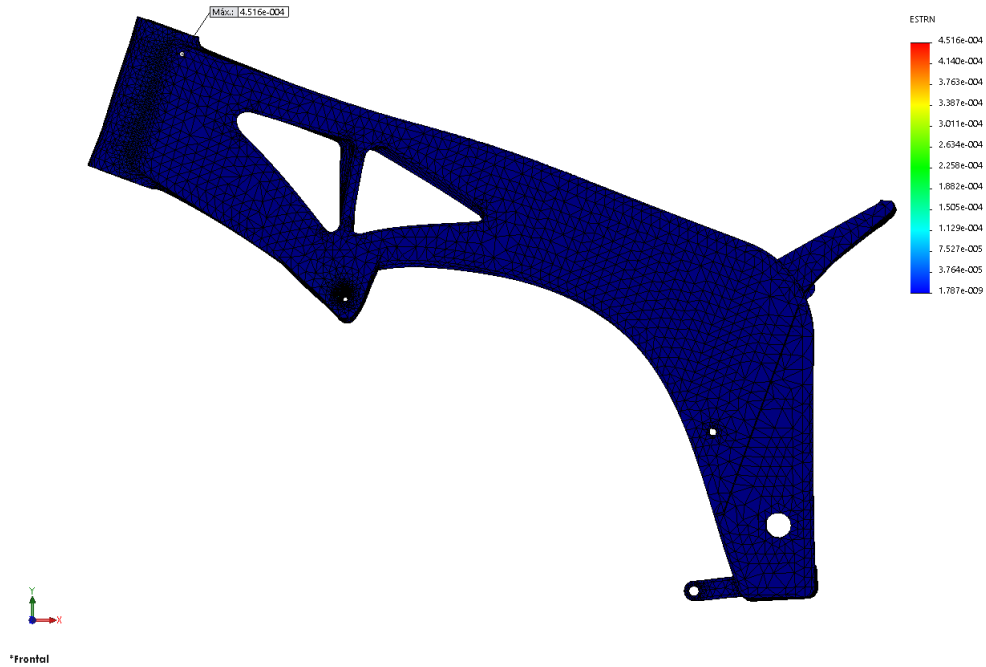


Figura 87 Vista frontal deformaciones unitarias en frenada

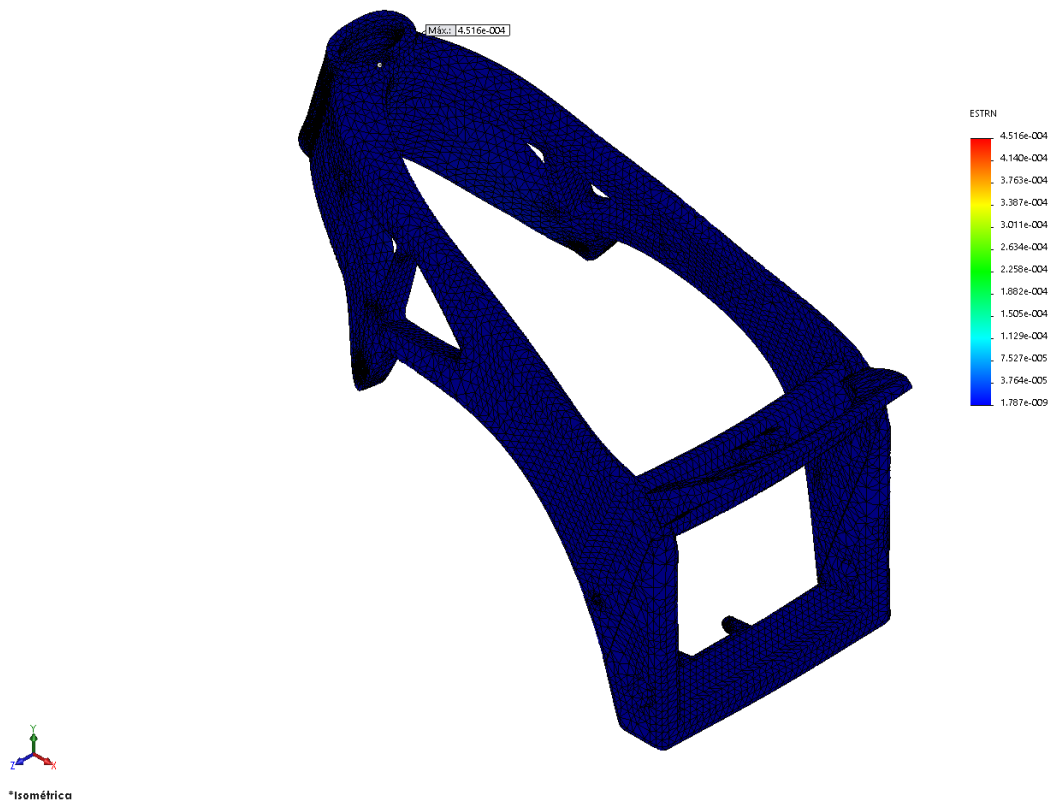


Figura 88 Vista isométrica deformaciones unitarias en frenada

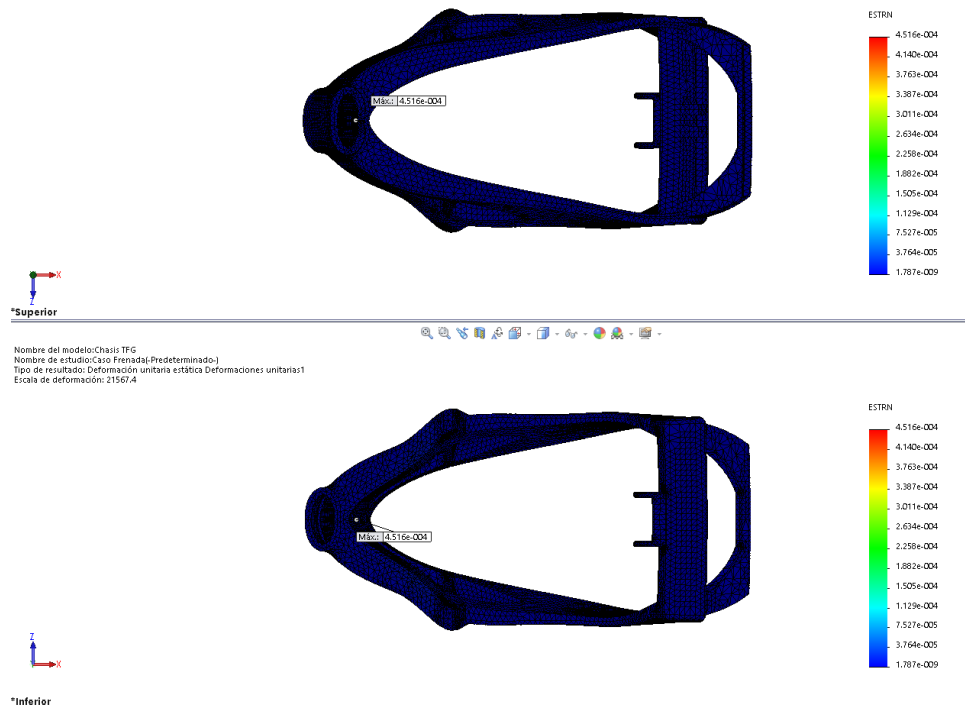


Figura 89 Vista inferior y superior deformaciones unitarias en frenada

### 4.3 Resultados caso paso por curva

#### Tensión máxima

La tensión máxima realizada sobre el chasis tiene un valor de  $7,948 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$ .

El nodo de máxima tensión se encuentra en uno de los soportes del motor, éstos son los encargados de abrazar el motor y sujetarlo firmemente. Se trata de una zona que sufre grandes esfuerzos, ya que tiene que soportar los esfuerzos generados por el motor debido a la gravedad así como por la fuerza centrípeta, y además de tener que soportar los esfuerzos debidos a los momentos generados en la pipa de dirección, que provocan que la cuna se retuerza.

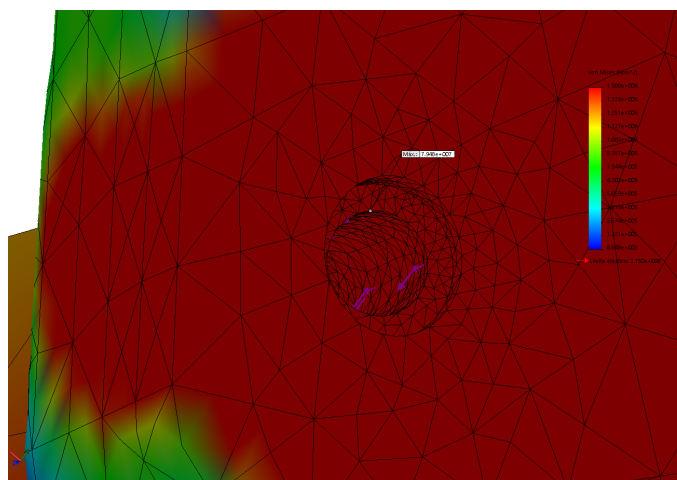


Figura 90 Nodo de máxima tensión en paso por curva

En las siguientes imágenes se puede observar como en este caso las tensiones no se acumulan en la parte delantera o en la parte trasera del chasis como ocurría en los casos de frenada y aceleración respectivamente, sino que concentran en distintos puntos a los largo del chasis provocados tanto por la fuerzas centrípetas como por los esfuerzos debidos al piloto a los trenes delantero y trasero

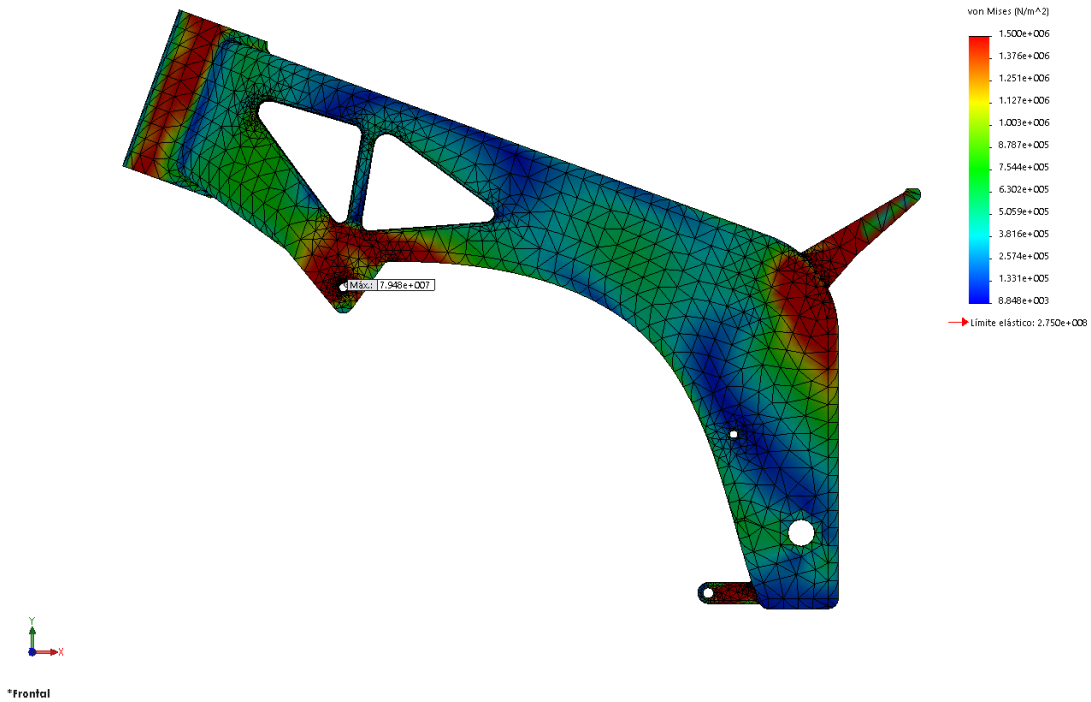


Figura 91 Vista frontal tensiones máximas en paso por curva

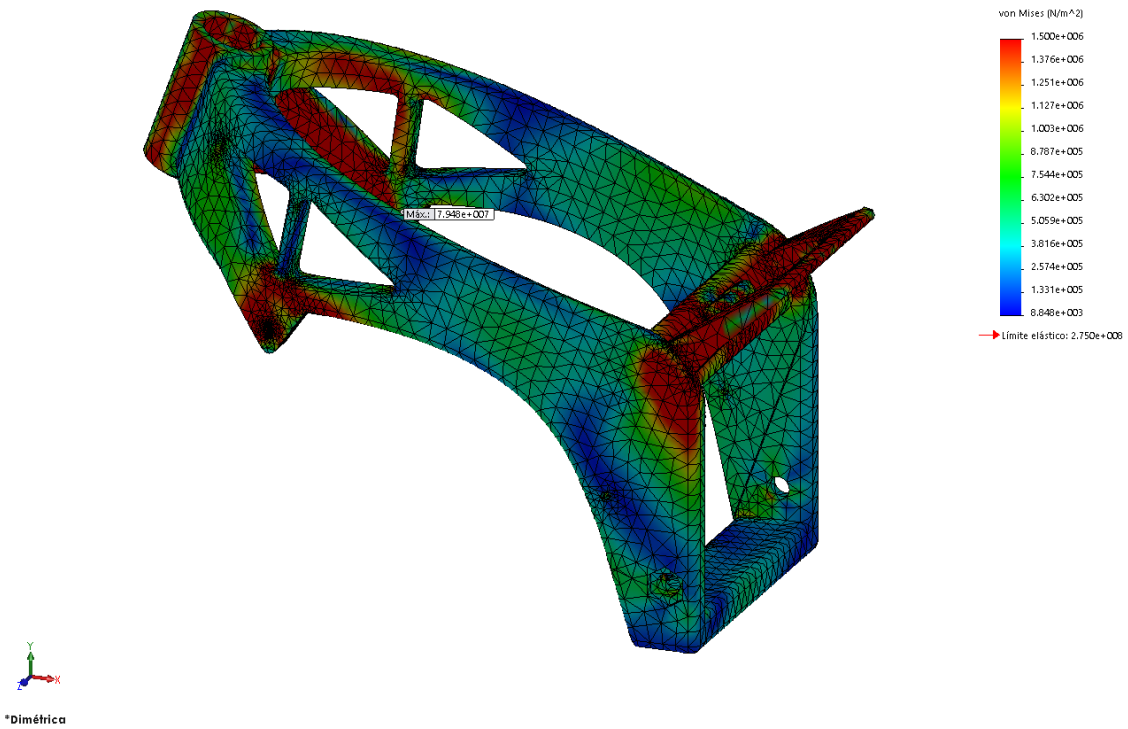


Figura 92 Vista dimétrica tensiones máximas en paso por curva

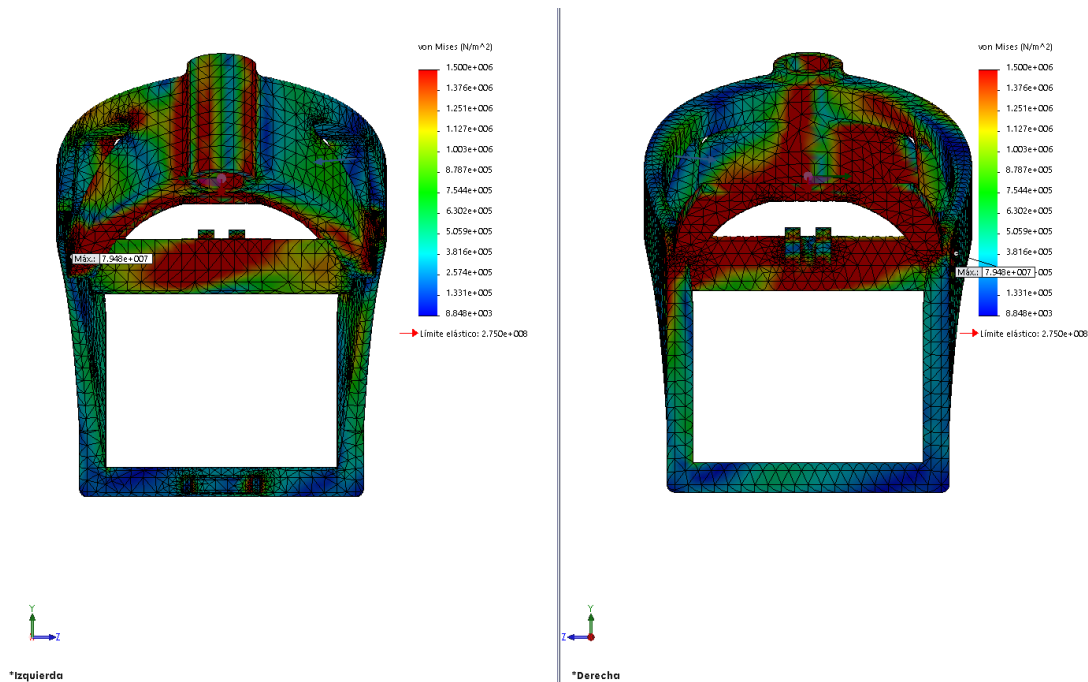


Figura 93 Vistas delantera y trasera tensiones máximas en paso por curva

**Desplazamientos máximos**

El desplazamiento máximo que soporta el chasis es de  $1.014 \cdot 10^{-4}$  m.

El nodo de desplazamiento máximo se encuentra situado en la parte superior del chasis, sobre el elemento portante del piloto. Como ya se comentó anteriormente se trata de una zona de menor sección, y que ahora, además de soportar las fuerzas debidas al peso del piloto, tiene que soportar la fuerza centrípeta generada por el piloto. Como se observa en la imágenes, el chasis tiende a desplazarse en el sentido de la fuerza centrípeta.

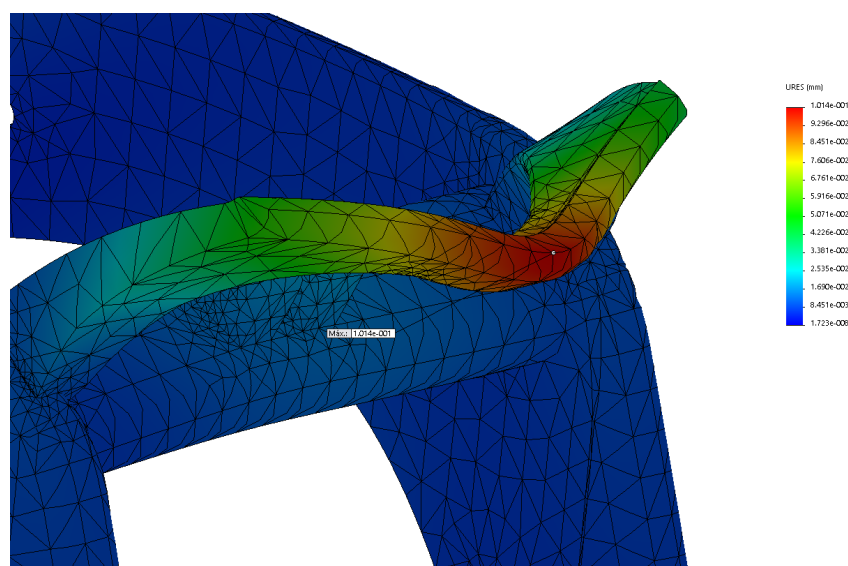


Figura 94 Nodo de máximo desplazamiento en paso por curva



Se Puede observar en las siguientes imágenes 3 zonas donde dejan de ser azules y suben por la escala de colores, estas zonas son donde se concentran los desplazamientos, como son la pipa de dirección, el soporte del piloto, y el anclaje de la suspensión trasera.

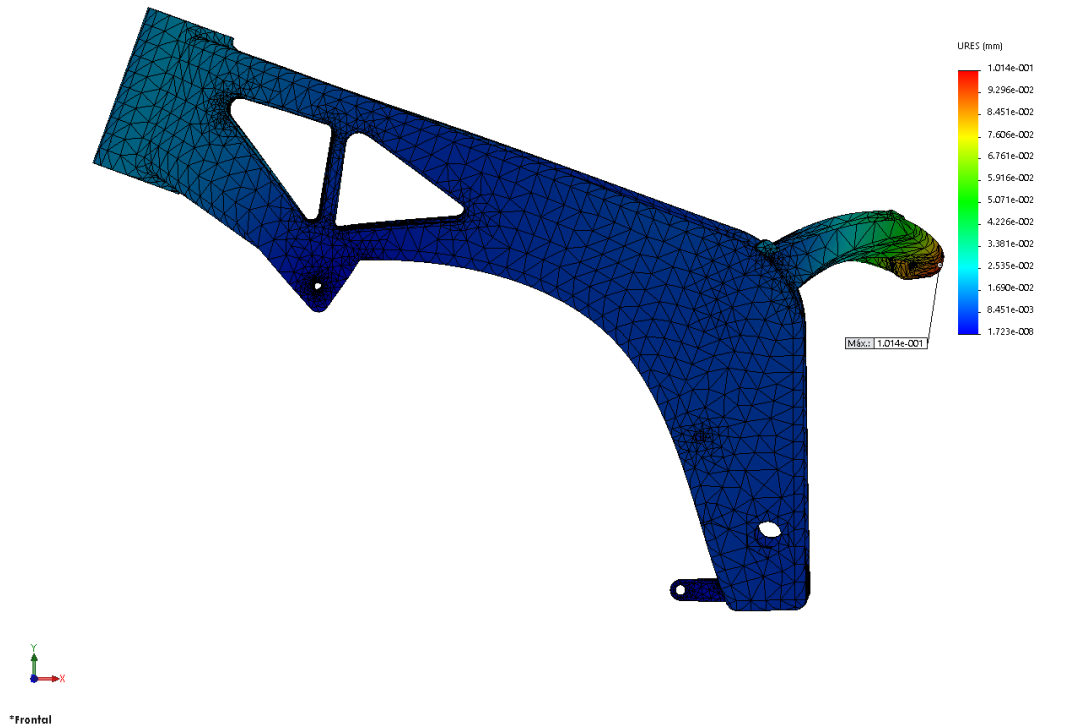


Figura 95 Vista frontal desplazamientos en paso por curva

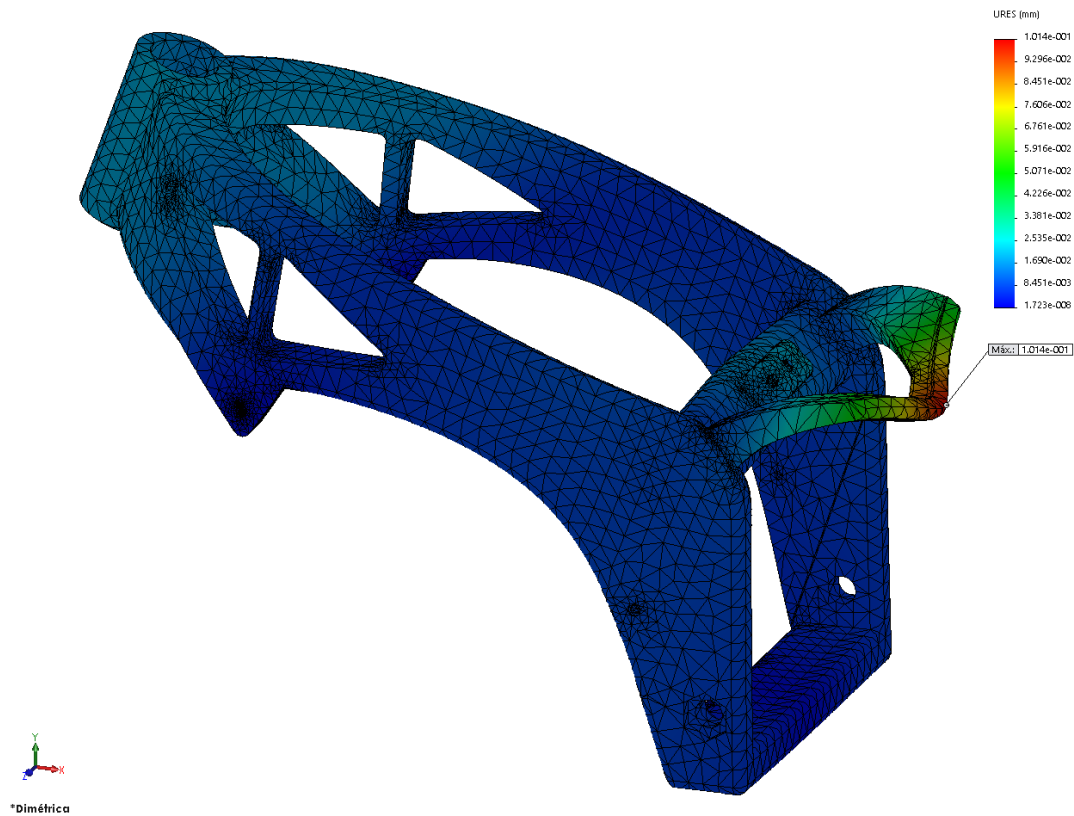


Figura 96 Vista dimétrica desplazamientos en paso por curva

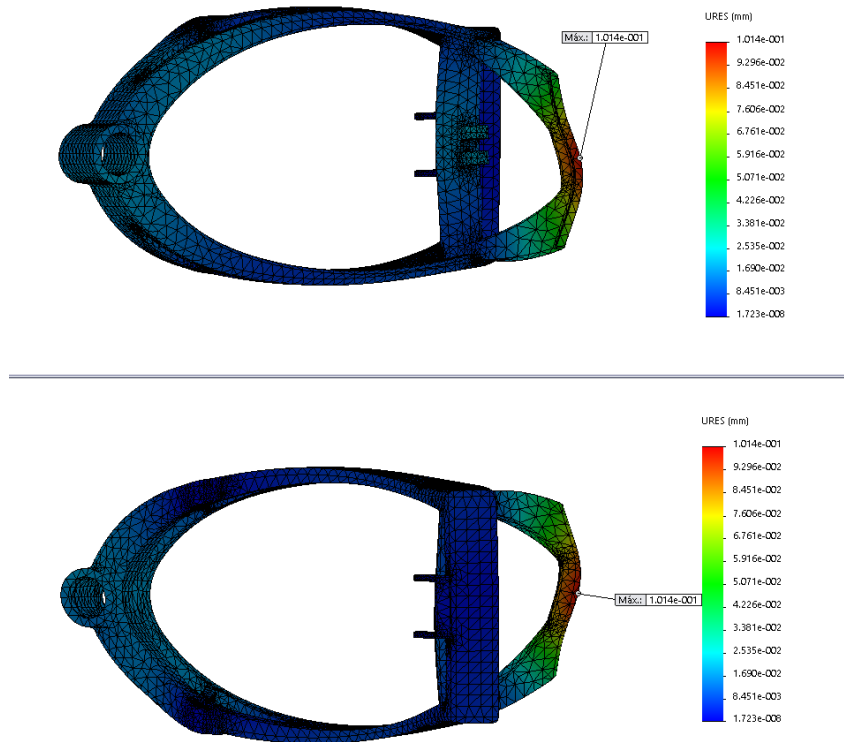


Figura 97 Vistas superior e inferior desplazamientos en paso por curva

**Deformaciones unitarias**

La deformación máxima unitaria tiene un valor de  $8,987 \cdot 10^{-7}$  m.

Al igual que en los casos anteriores, el nodo de máxima deformación coincide con el nodo de máxima tensión. El soporte del motor debe soportar grandes tensiones por lo que, éstas tensiones formaran desplazamientos máximos.

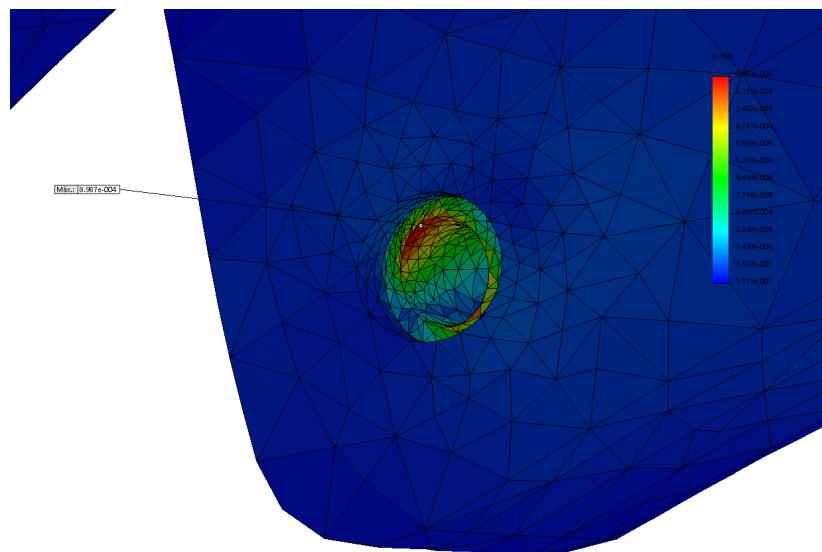


Figura 98 Nodo de máxima deformación unitaria en paso por curva

Como se puede observar en las siguiente imágenes las deformaciones unitarias son bajas, el color azul de prácticamente todo el modelo, indica que se trata de un chasis rígido que será capaz de soportar sin deformarse las tensiones a la que será sometido. Únicamente varía el color cerca de los soportes del motor y las conexiones con las cunas de los anclajes de la suspensión trasera o en la parte baja del soporte del piloto, zona que coincide con las de máxima tensión.

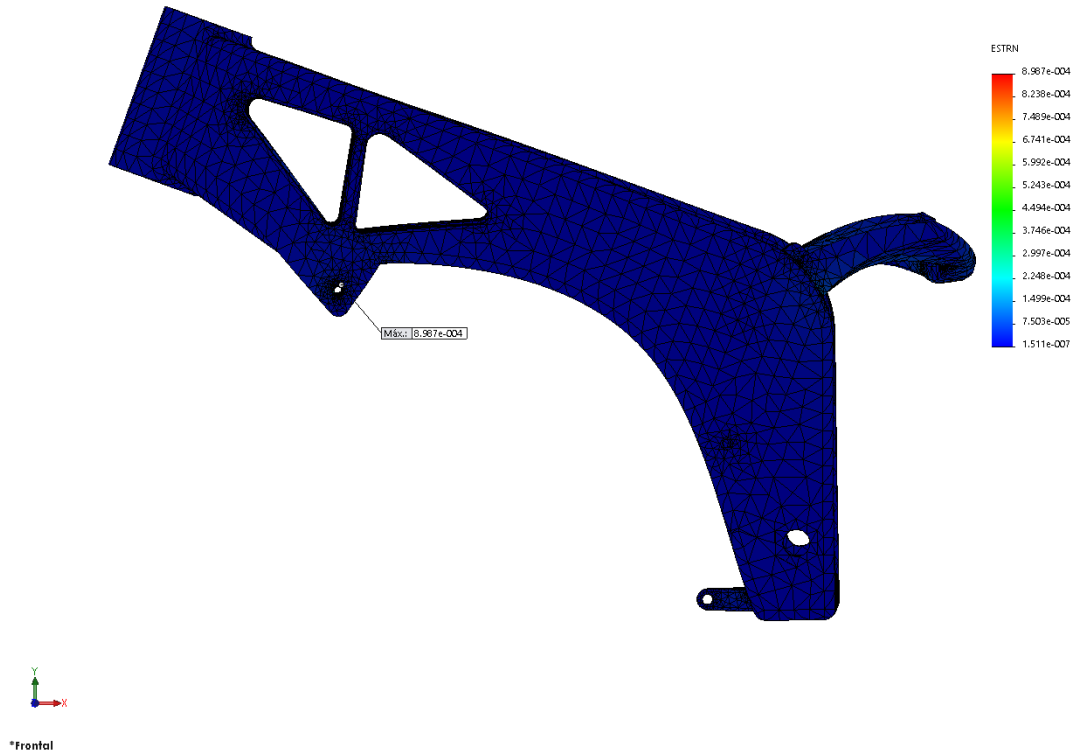


Figura 99 Vista frontal deformaciones unitarias en paso por curva

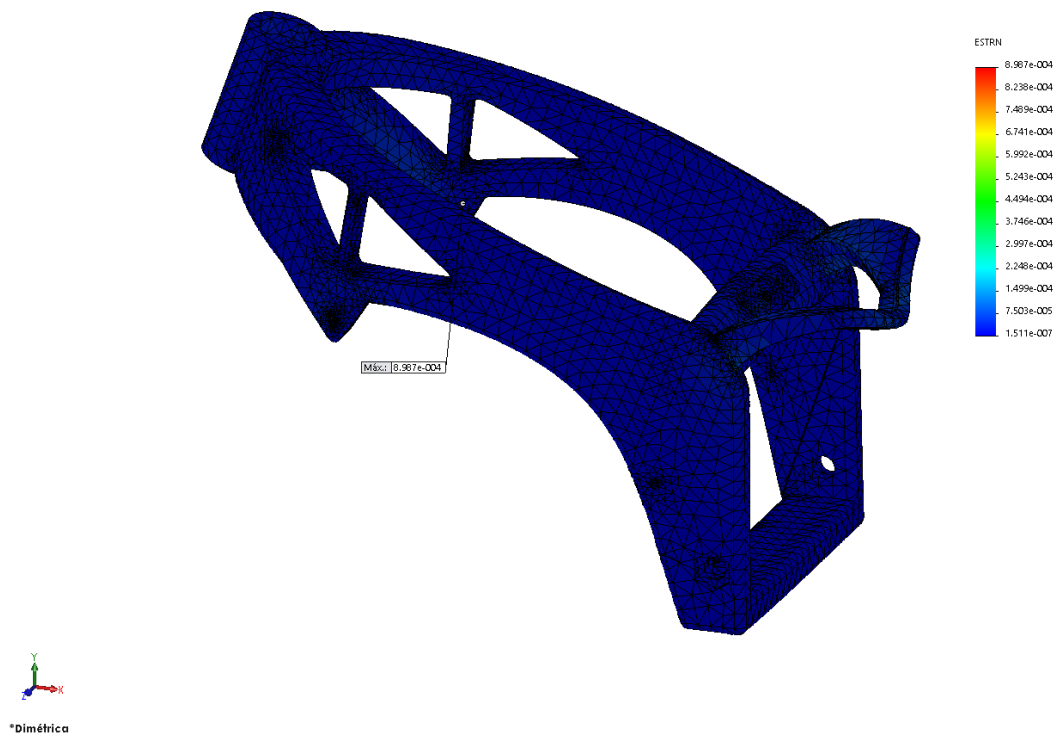


Figura 100 Vista dímétrica deformaciones unitarias en paso por curva

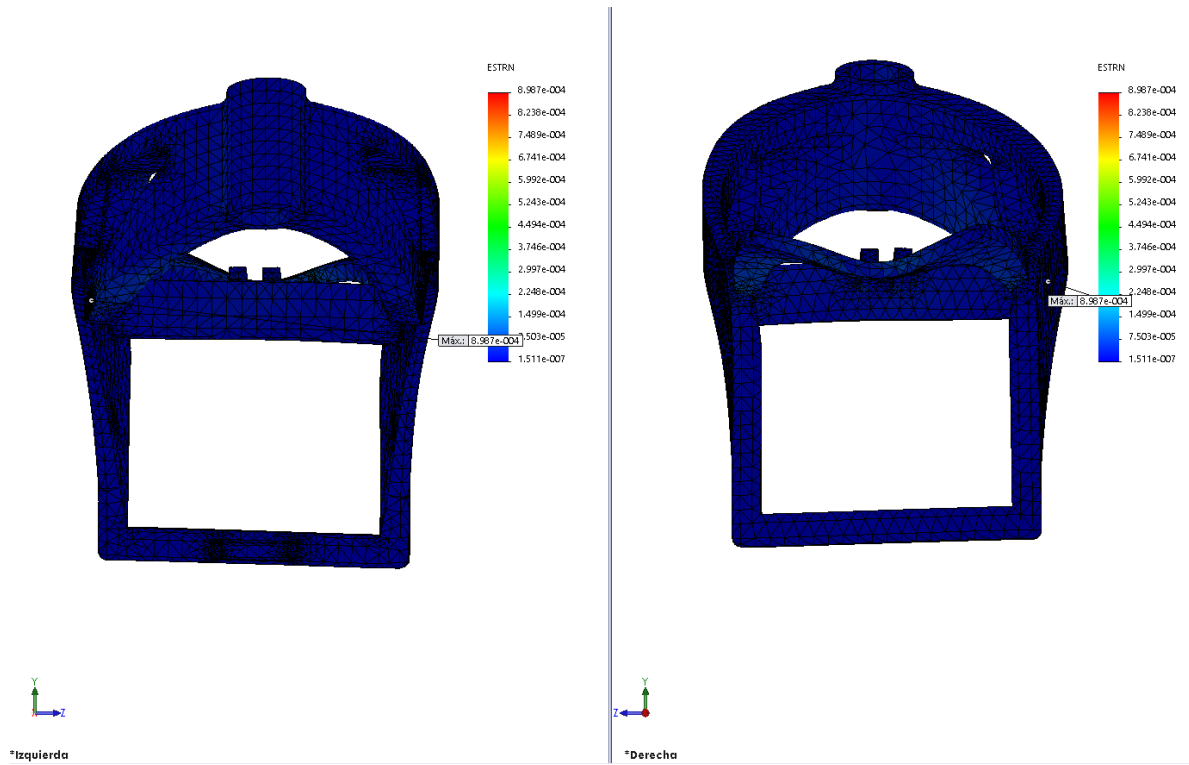


Figura 101 Vistas delantera y trasera desplazamientos unitarios en paso por curva

## 5. Conclusiones

Hasta ahora se ha podido observar que los resultados obtenidos dejaban entrever que se trata de un chasis capaz de soportar los esfuerzos calculados anteriormente. Los desplazamientos estaban del orden de una décima parte de 1mm y las deformaciones del orden de 1000 veces. Pero el factor que determina si un chasis será capaz de resistir las tensiones es FDS (Factor de seguridad a tensión). El factor de seguridad a tensión es una medida de la resistencia global de la estructura y se evalúa dividiendo el límite elástico del material por la tensión efectiva (En este caso de vonMises). El programa calcula el FDS como una función de la historia de la tensión efectiva (vonMises) para determinar el factor de fallo de la estructura. Los valores por encima de 1.0 son aceptable, mientras que valores por debajo de 1.0 indican fallo.

### 5.1 Caso Aceleración

La aceleración de 0-100 Km/h se trata de una hipótesis muy exigente sobretodo para la parte posterior del chasis, aquí se concentran la mayoría de los esfuerzos. Pese a ésto el programa ha calculado el factor de seguridad a tensión obteniendo un valor de **FDS=7,32**.

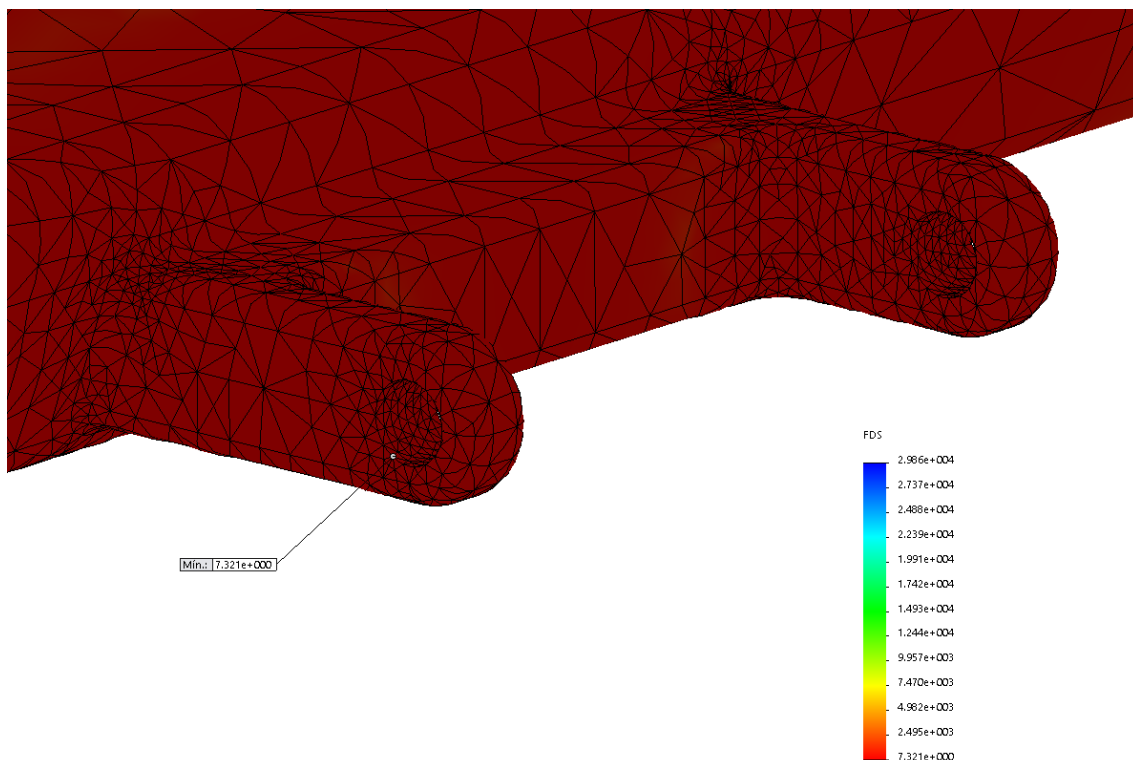


Figura 102 Nodo FDS mínimo aceleración

Este valor nos indica que el chasis diseñado es capaz de soportar hasta 7,32 veces la tensión máxima generada con el material seleccionado, por lo que podemos afirmar que se trata de un chasis que cumple con los requisitos y que tiene un comportamiento

óptimo. A continuación se adjuntan varias imágenes para apreciar que el chasis por completo tiene un FDS 7,32 mínimo.

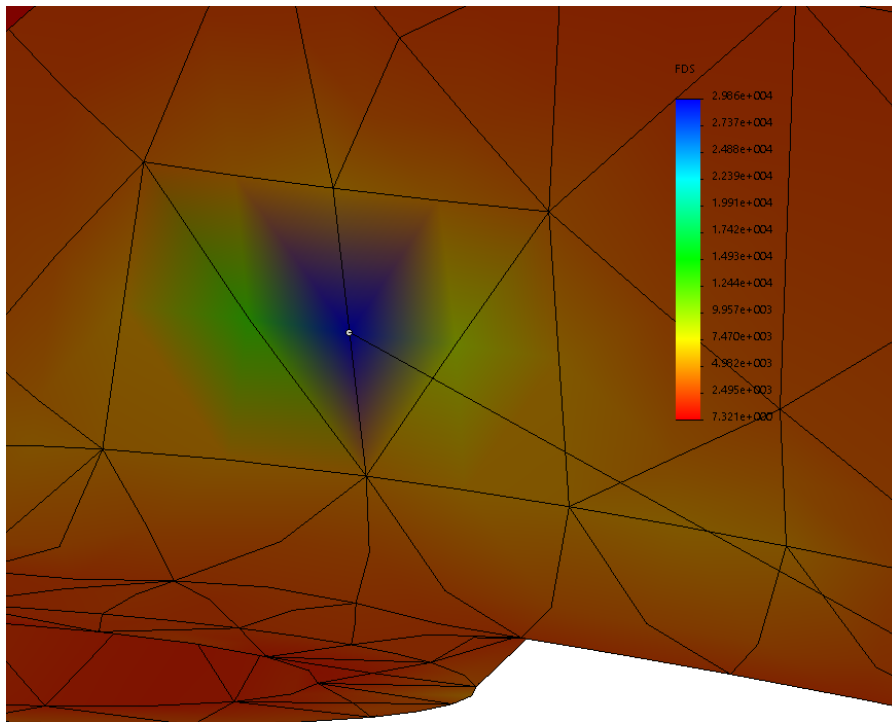


Figura 103 Nodo de máximo FDS en aceleración

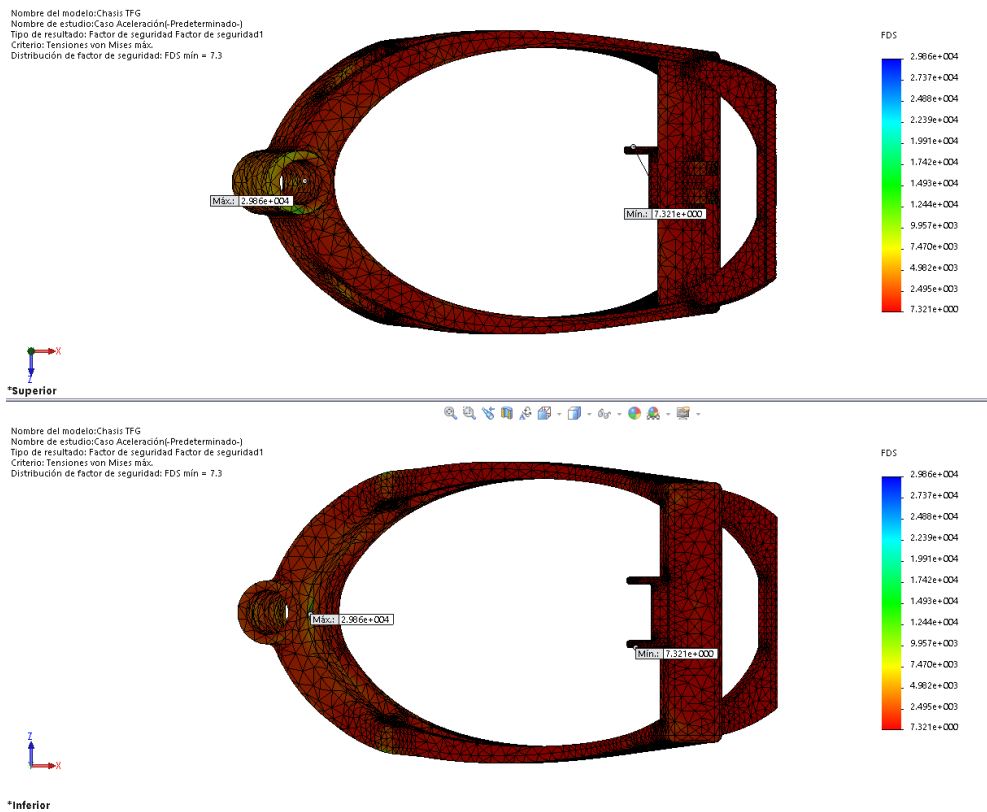


Figura 104 Vista superior e inferior FDS en aceleración

Podemos concluir que el chasis se comporta de forma más que aceptable, los resultados obtenidos son muy buenos, como se observa con el FDS o la rigidez del chasis y que por tanto, se trata de un modelo capaz de soportar solicitaciones superiores sin problemas.

## 5.2 Caso frenada

La frenada de 100- 0 Km/h se trata de una hipótesis con alto nivel de solicitaciones en el tren delantero, tanto la pipa de dirección como los soportes delanteros del motor sufren mucho. Sin embargo el programa ha calculado un valor de **FDS=5,14**. El nodo de mínimo FDS se sitúa en el mismo nodo que para la tensión máxima como se puede observar en la siguiente imagen.

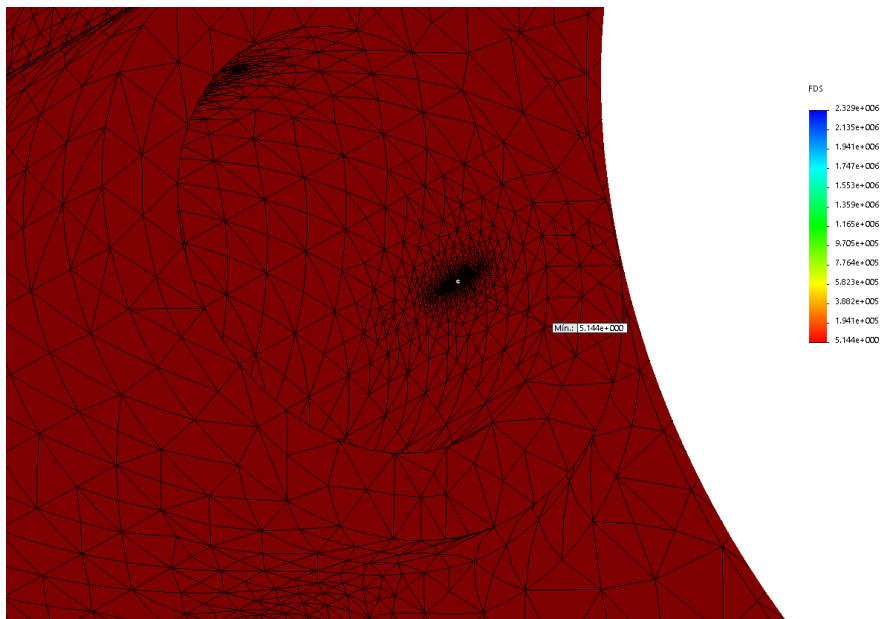


Figura 105 Nodo de mínimo FDS en frenada

Este valor algo menor que en el caso de aceleración, nos indica que el modelo diseñado es capaz de soportar 5,14 veces las tensiones calculadas para el material seleccionado, por lo que se trata de un valor más que aceptable, pues que hay que reseñar que la fuerza G estaba sobrevalorada. A continuación se adjunta diferentes imágenes de FDS.

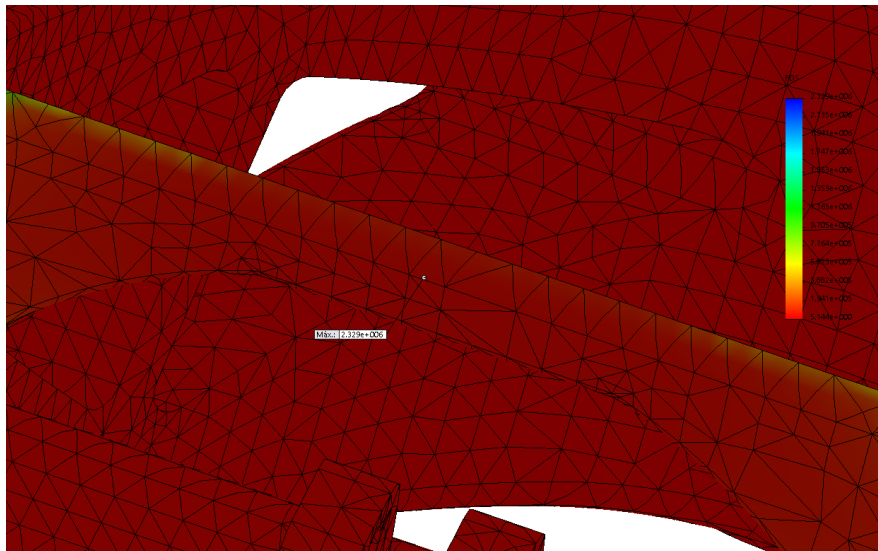


Figura 106 Nodo de mínimo FDS en frenada

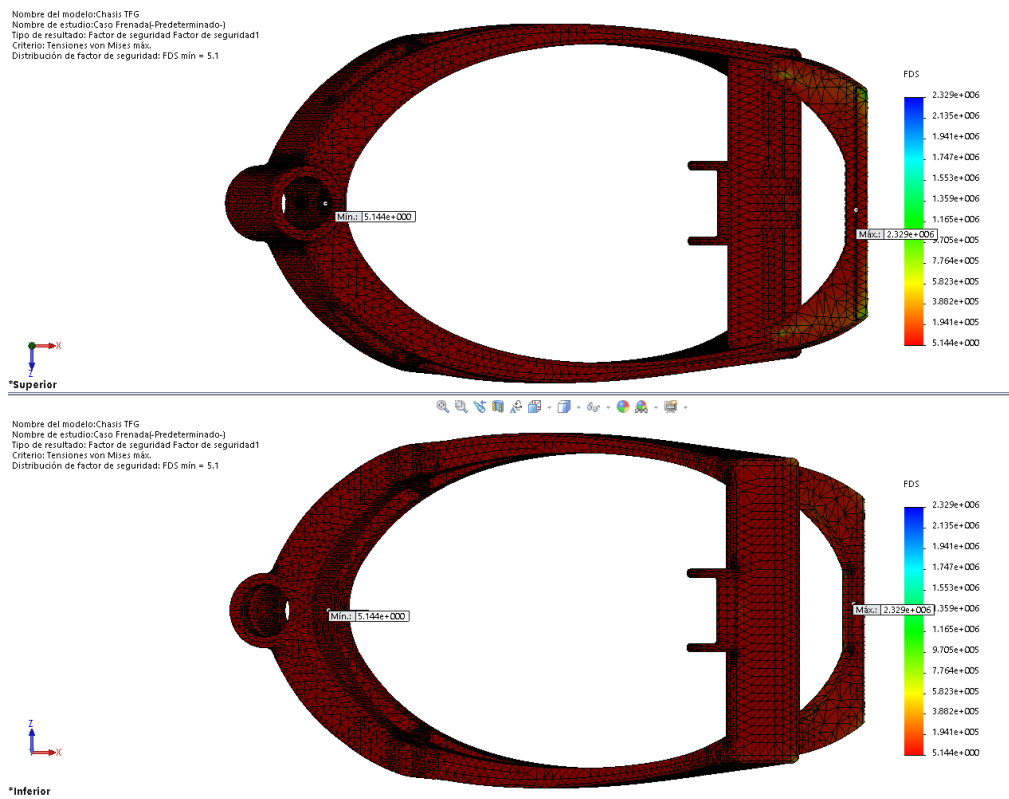


Figura 107 Vistas superior e inferior del FDS en frenada

Podemos concluir que se trata de un chasis que tiene un buen comportamiento frente a las solicitaciones calculadas, al igual que en el caso de aceleración hemos obtenido unos grandes resultados de FDS y de rigidez, que nos permiten asegurar que este chasis es apto para las condiciones para las que se ha diseñado e incluso superiores.



### 5.3 Caso paso por curva

El paso por curva se trata del caso más exigente de todos, ya que tanto el tren delantero como el trasero generan sollicitaciones, además aparece en escena la fuerza centrípeta, es por ello que factor de seguridad nos ha dado un **FDS=3,46**.

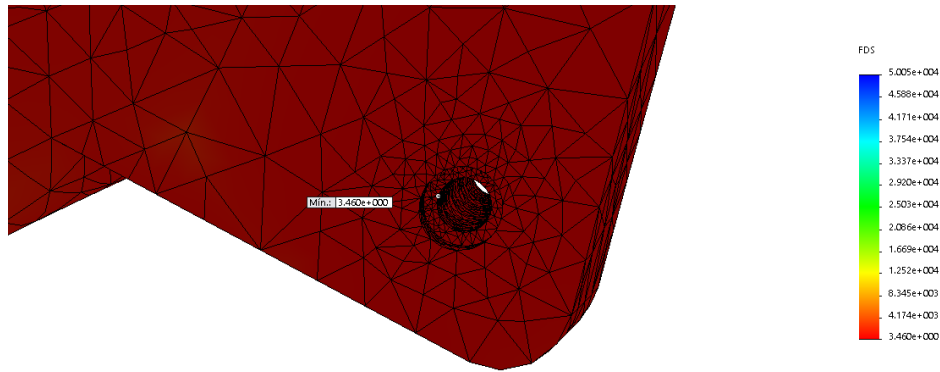


Figura 108 Nodo de mínimo FDS en paso por curva

Tiene sentido que el FDS se trate del más bajo, en esta hipótesis interfieren más sollicitaciones que en los dos casos anteriores y por ello su valor. Aunque tiene un valor bueno, capaz de soportar hasta 3,46 veces las sollicitaciones calculadas para el material seleccionado.

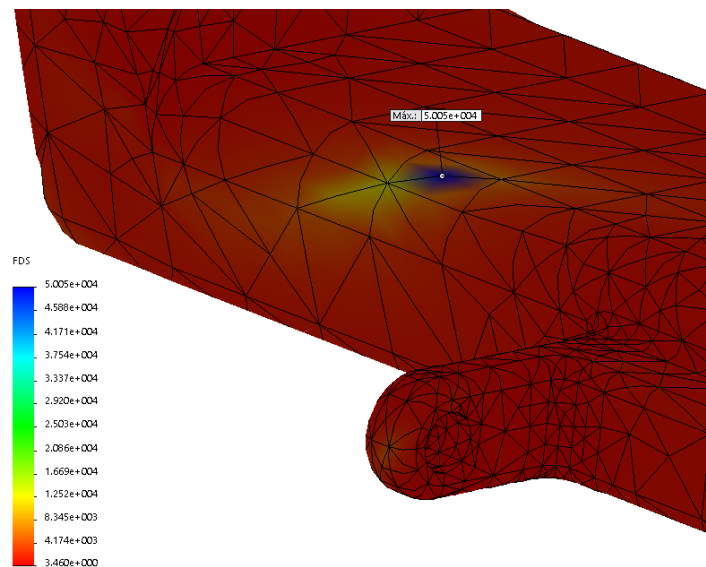


Figura 109 Nodo de máximo FDS en paso por curva

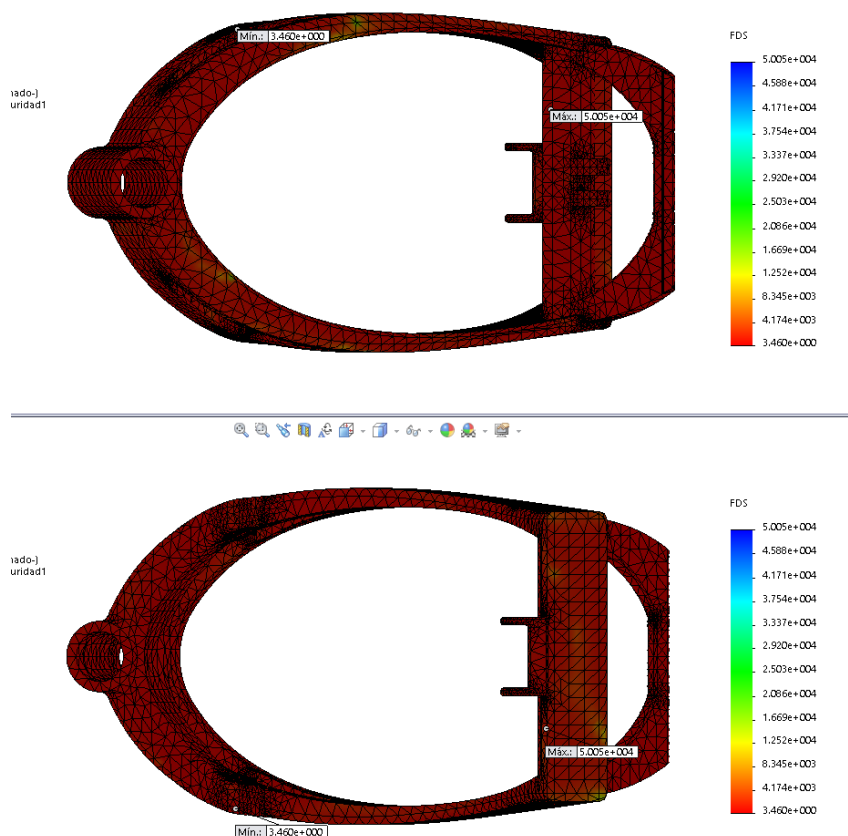


Figura 110 Vistas superior e inferior del FDS en paso por curva

Podemos concluir que se trata de una simulación con buenos resultados, capaz de soportar las solicitaciones calculadas, indicándonos que el chasis cumple con un buen FDS y que tiene la rigidez necesaria para soportar las irregularidades del terreno y absorber las fuerzas de manera correcta sin deformarse.

Ensayo	Tensión máxima (N/m <sup>2</sup> )	Desplazamientos Máximos (m)	Deformaciones Máximas (m)	FDS
Aceleración	$3,756 \cdot 10^7$	$1,250 \cdot 10^{-4}$	$4,327 \cdot 10^{-7}$	7,32
Frenada	$5,346 \cdot 10^7$	$3,788 \cdot 10^{-6}$	$4,516 \cdot 10^{-7}$	5,14
Paso por curva	$7,948 \cdot 10^7$	$1,014 \cdot 10^{-4}$	$8,987 \cdot 10^{-7}$	3,46

Tabla 3 Resumen de resultados

## 5.4 Desarrollos de futuro

Una vez obtenidos los resultados satisfactorios, se abre un abanico de líneas de trabajo para continuar dándole forma al proyecto de fabricación en un futuro. Estas líneas abarcan desde realizar una pequeña remodelación del diseño con tal de ajustar un FDS entorno a 2,5, con tal de obtener un equilibrio entre solicitaciones y material, y por tanto ajustar el gasto de material.

Otra línea de trabajo sería realizar nuevas hipótesis que reproduzcan casos reales como puedan ser el paso de un obstáculo a cierta velocidad en línea recta, frenada o aceleración durante el paso por curva o paso de un obstáculo mientras se toma una curva. Como hemos observado el paso por curva tiene gran influencia en la geometría del chasis, ya que genera gran cantidad de solicitaciones, por lo que añadir a esta hipótesis las solicitaciones de una frenada o aceleración, o el paso de un obstáculo lo convierten en un caso muy exigente para un chasis.

La búsqueda de materiales más resistentes y más ligeros está en continua evolución por lo que se trata de una línea de trabajo muy a tener en cuenta. Un material mas resistente, nos permite realizar cunas de menor sección, y por tanto menos material y menos peso. Con ello la reducción de coste que ésto conlleva.

## 6. Bibliografía

---

### **Libros de texto**

ARIAS PAZ, Manuel: Motocicletas. Madrid: Ed. Dossat, 1993. 29a Edición.

FOALE, Tony: Motocicletas. Comportamiento dinámico y diseño de chasis: El arte y la ciencia. Madrid: Tony Foale, 2003.

GOMEZ GONZALEZ, Sergio: El gran libro de Solidworks®. Marcombo S.A. 2014. 2ª Edición.

### **Tesis y proyecto fin de carrera**

Vergara Culebras, Patxi. Madrid. Modelado, análisis y simulación de un chasis de motocicleta. Leganés: Universidad Carlos III de Madrid, 2011.

García García, Ismael. Cartagena. Diseño y desarrollo de un chasis de una motocicleta de 250cc para la “II Competición Internacional MotoStudent” Cartagena: Universidad politécnica de Cartagena, 2013.

Ayllón Escudero, Manuel. Madrid. Rediseño del chasis de una motocicleta: Ducati Monster s2r 800. Madrid: Universidad pontificia de Madrid, 2013.

### **Páginas Web consultadas**

[www.bottpower.com](http://www.bottpower.com)

[www.e-archivo-uc3m.com](http://www.e-archivo-uc3m.com)

[www.junglekey.com](http://www.junglekey.com)

[www.yamaha-motor.eu/es/](http://www.yamaha-motor.eu/es/)

[www.ducati.es](http://www.ducati.es)

[www.lsbikes.blogspot.com](http://www.lsbikes.blogspot.com)

[www.pointworld.com](http://www.pointworld.com)

[www.ohlins.com](http://www.ohlins.com)

[www.solomoto.es](http://www.solomoto.es)

[www.motociclismo.es](http://www.motociclismo.es)

# APENDICE I: PLIEGO DE CONDICIONES

---

## NORMATIVA

La directiva 2002/24 CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 18 de marzo de 2002 tiene como objetivo regular la homologación de vehículos de nueva construcción.

Según al artículo 1, La presente Directiva se aplicará a todos los vehículos de motor de dos o tres ruedas, gemelas o no, destinados a circular por carretera, así como a sus componentes o unidades técnicas. En el apartado 2.b incluye el objeto de nuestro proyecto, motocicletas, es decir, los vehículos de dos ruedas sin sidecar (categoría L3e) o con sidecar (categoría L4e) con un motor cuya cilindrada sea superior a 50 cm<sup>3</sup> para los motores de combustión interna y/o con una velocidad máxima por construcción superior a 45 km/h.

Según el artículo 3, las solicitudes de homologación serán presentadas por el fabricante a las autoridades competentes en materia de homologación de un Estado miembro. Irán acompañadas de una ficha de características cuyo modelo, en el caso de la homologación de vehículos, figura en el anexo II y, en el caso de la homologación de sistemas, unidades técnicas o de componentes, en el anexo o apéndice de cada directiva específica relativa al sistema, la unidad técnica o al componente de que se trate, así como de los documentos que se mencionan en la ficha de características. Para un mismo tipo de vehículo, de sistema, de unidad técnica o de componente, sólo podrán presentarse las solicitudes ante un único Estado miembro.

En el artículo 4 encontramos que los Estados miembros concederán la homologación de cualquier tipo de vehículo, de sistemas, de unidades técnicas o de componentes que cumplan las condiciones siguientes:

a) El tipo de vehículo deberá cumplir los requisitos técnicos de las Directivas específicas y corresponder a los datos proporcionados por el fabricante, previstos en la lista exhaustiva que figura en el anexo I

b) El sistema, la unidad técnica o el componente deberá cumplir los requisitos técnicos de la respectiva directiva específica y corresponder a los datos proporcionados por el fabricante, previstos en la lista exhaustiva que figura en el anexo I.

Una vez a sido apta la homologación, según el artículo 7 para cada vehículo fabricado conforme al tipo homologado, el fabricante extenderá un certificado de conformidad, cuyo modelo figura en la parte A del anexo IV. Cada vehículo irá acompañado de un certificado de este tipo.

Conforme con el artículo 8, todo vehículo fabricado de conformidad con el tipo homologado deberá incluir una marca de homologación compuesta conforme a lo dispuesto en las secciones 1, 3 y 4 del número de homologación a que se refiere la parte A del anexo V.

Según el artículo 10, si el Estado miembro que haya procedido a la homologación comprueba que determinados vehículos, sistemas, unidades técnicas o componentes no son conformes al tipo homologado, adoptará las medidas necesarias para asegurar la conformidad de la producción con el tipo homologado. Las autoridades competentes de dicho Estado miembro informarán a las de los demás Estados miembros de las medidas adoptadas, que podrán incluir, en su caso, la retirada de la homologación.

Una vez nombrados los artículos que afectan a la fabricación de una motocicleta pasamos a conocer los anexos nombrados en los artículos.

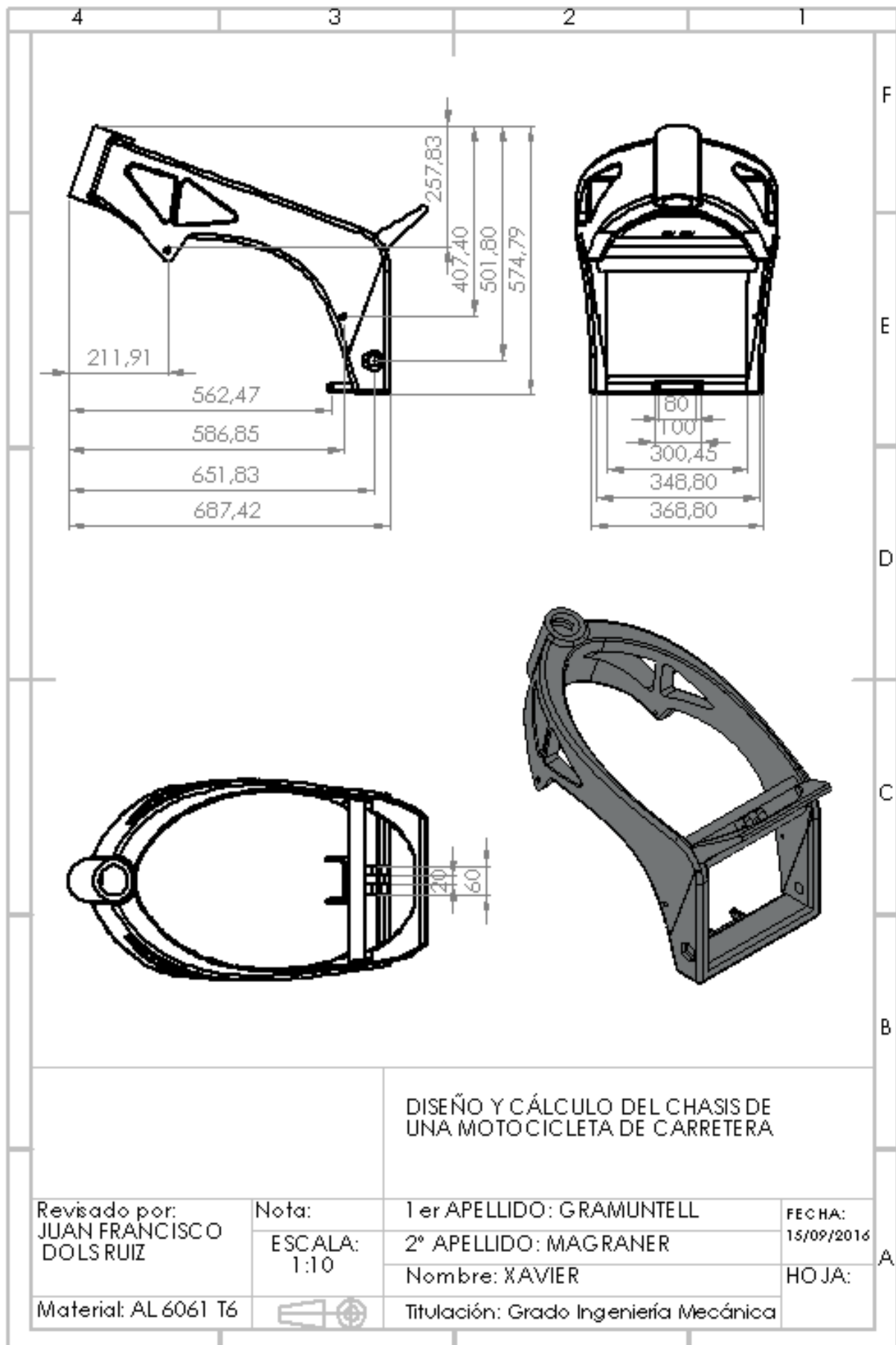
El Anexo I hace mención de la lista de requisitos para la homologación de un vehículo.

El Anexo II-B trata de una ficha de características relativas únicamente a los ciclomotores de dos ruedas y motocicletas, que abarca desde equipos, dimensiones y masas, motor, transmisión, suspensión, dirección, frenos, dispositivos de alumbrado y señalización luminosa.

Anexo III se trata del certificado de homologación CE

Anexo IIII se trata del certificado de conformidad CE

## PLANO DEL CHASIS



## PRESUPUESTO

El siguiente presupuesto tiene en cuenta los kilogramos de aluminio necesarios según la masa del chasis, el coste de la licencia anual del programa Solidworks2015, las horas de trabajo de ingeniero junior y el coste del material necesario para llevar a cabo la simulación, es decir, un ordenador.

- Precio 26,88 Kg aluminio 6061 T6 83,46 €
- Software:
- - Horas de modelado (80 h) 136,98 €
  - Horas de simulación (60 h) 102,74 €
- Mano de obra ingeniero:
- - Horas de diseño (30 h) 1.050 €
  - Horas de modelado (80 h) 2.800 €
  - Horas de simulación (60 h) 2.100 €
- Hardware:
- - Horas de diseño (30 h) 7,20 €
  - Horas de modelado (80 h) 19,20 €
  - Horas de simulación (60 h) 14,40 €

**TOTAL 6.313,98 €**

### Descripción

#### *Hardware*

MacBook Pro Retina 15 pulgadas 2.099 €

Procesador 2,2 GHz Intel Core i7  
 Memoria 16 GB 1600 MHz DDR3  
 Gráficos Intel Iris Pro 1536 MB

#### **Software**

Licencia anual Solidworks2015 Premium 15.000 €

#### **Mano de obra**

Hora ingeniero junior 35 €