



# ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación:

INGENIERO INDUSTRIAL

Título del proyecto:

DISEÑO DEL CHASIS DE UNA MOTOCICLETA DE  
COMPETICIÓN

## MEMORIA

Iria Coba Antón

César Díaz De Cerio

Pamplona, 23 de Julio de 2010

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer el tiempo dedicado por parte de una amiga, la cual me ha apoyado y ayudado desinteresadamente en los momentos más críticos del desarrollo del proyecto. Gracias Amaia.

Gracias también a César Díaz De Cerio, por sus enriquecedores comentarios acerca de los diversos aspectos del proyecto.

Una mención especial requieren mi padre, mi madre y mi hermana, que durante todos estos años han estado a mi lado ayudándome a superar las contrariedades y apoyándome en todo.

Gracias Borja, por estar junto a mí todo este tiempo y hacerme las cosas más fáciles.

Por último, me gustaría agradecer al resto de mi familia su cariño y apoyo.

## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>PUESTA EN MARCHA .....</b>	<b>6</b>
<b>2.1</b>	<b>MOTOSTUDENT .....</b>	<b>6</b>
2.1.1	LA COMPETICIÓN .....	6
2.1.2	FASES DE LA COMPETICIÓN .....	7
2.1.3	EL EQUIPO.....	10
<b>3</b>	<b>PUNTO DE PARTIDA .....</b>	<b>12</b>
<b>3.1</b>	<b>REGLAMENTO TÉCNICO .....</b>	<b>12</b>
3.1.1	LA MOTOCICLETA .....	12
3.1.2	REQUERIMIENTOS GENERALES DEL DISEÑO .....	13
❖	DIMENSIONES.....	13
❖	PESOS.....	14
❖	CICLÍSTICA.....	15
✓	Bastidor.....	15
✓	Suspensiones .....	15
✓	Dirección.....	15
✓	Estriberas .....	15
✓	Llantas y neumáticos .....	15
3.1.3	MOTOR .....	16
3.1.4	PROCEDIMIENTO DE VERIFICACIONES TÉCNICAS.....	16
❖	HOMOLOGACIÓN DEL CHASIS .....	16
❖	VERIFICACIÓN DE COTAS GENERALES .....	16
❖	VERIFICACIÓN DE PESOS.....	16
❖	VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE SEGURIDAD.....	16
❖	ESPACIO EN EL BASTIDOR PARA ADHESIVO DE VERIFICACIÓN TÉCNICA.....	17
<b>3.2</b>	<b>COMPONENTES ESTÁNDAR .....</b>	<b>17</b>
3.2.1	EL MOTOR.....	17
3.2.2	HORQUILLA DELANTERA.....	18
3.2.3	AMORTIGUADOR TRASERO .....	18
3.2.4	LLANTAS.....	18
3.2.5	NEUMÁTICOS.....	19
3.2.6	RESTO DE ELEMENTOS .....	19
<b>4</b>	<b>CHASIS DE UNA MOTOCICLETA .....</b>	<b>19</b>
<b>4.1</b>	<b>HISTORIA .....</b>	<b>19</b>
<b>4.2</b>	<b>ESTRUCTURA DE UN CHASIS .....</b>	<b>25</b>

<b>4.3</b>	<b>FUNCIONES DEL CHASIS DE UNA MOTOCICLETA .....</b>	<b>26</b>
<b>4.4</b>	<b>TIPOS DE CHASIS.....</b>	<b>27</b>
4.4.1	MONOVIGA.....	27
❖	Espina central .....	27
❖	Monocasco .....	28
❖	Doble viga .....	28
4.4.2	CHASIS TUBULARES .....	29
❖	Tubular convencional .....	29
❖	Tubular triangulado .....	30
❖	Motor estructural.....	31
<b>4.5</b>	<b>ANÁLISIS Y SELECCIÓN DEL MODELO .....</b>	<b>32</b>
4.5.1	ANTECEDENTES Y CONDICIONANTES .....	32
4.5.2	CARACTERÍSTICAS DEL CHASIS.....	32
4.5.3	ELECCIÓN DEL TIPO DE CHASIS .....	33
4.5.4	ELECCIÓN DEL TIPO DE MATERIAL.....	34
<b>5</b>	<b>DISEÑO PRELIMINAR.....</b>	<b>37</b>
<b>5.1</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>37</b>
<b>5.2</b>	<b>DISEÑO DE LA GEOMETRÍA .....</b>	<b>40</b>
5.2.1	CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA .....	40
5.2.2	MODELOS Y ANÁLISIS .....	43
5.2.2.1	ANÁLISIS DE RIGIDEZ.....	44
❖	Test de rigidez longitudinal o de frenada .....	44
❖	Test de rigidez torsional o de torsión .....	45
❖	Test de rigidez lateral o de flexión.....	46
5.2.2.2	RESULTADOS DE LOS MODELOS .....	47
<b>5.3</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>78</b>
<b>6</b>	<b>DISEÑO DEL MODELO FINAL.....</b>	<b>79</b>
<b>6.1</b>	<b>GEOMETRÍA MEJORADA .....</b>	<b>79</b>
<b>6.2</b>	<b>SELECCIÓN DE ESPESORES .....</b>	<b>81</b>
6.2.1	CARGAS A APLICAR .....	82
❖	Frenada máxima .....	82
❖	Fuerza lateral máxima .....	83
6.2.2	RESULTADOS OBTENIDOS.....	85
<b>6.3</b>	<b>DISEÑO DE ANCLAJES .....</b>	<b>93</b>
6.3.1	ANCLAJE DEL MOTOR .....	93
6.3.2	ANCLAJE DEL AMORTIGUADOR .....	95
<b>6.4</b>	<b>ANÁLISIS COMPLETO DEL MODELO .....</b>	<b>97</b>

6.4.1	CARGAS ESTÁTICAS Y ENSAYOS .....	97
❖	Frenada máxima .....	97
❖	Combinación de frenada y curva .....	102
❖	Carga máxima para la compresión del amortiguador trasero .....	106
6.4.2	ENSAYOS EN EL CHASIS FINAL .....	114
❖	Frenada máxima .....	114
❖	Combinación de frenada y curva .....	117
❖	Máxima compresión del amortiguador trasero.....	119
<b>6.5</b>	<b>ANÁLISIS MODAL.....</b>	<b>122</b>
6.5.1	ENSAYO 1 .....	123
6.5.2	ENSAYO 2 .....	125
6.5.3	ENSAYO 3 .....	127
6.5.4	ENSAYO 4 .....	129
6.5.5	CONCLUSIONES.....	131
<b>7</b>	<b>MATERIALES Y PROCESOS DE FABRICACIÓN.....</b>	<b>132</b>
<b>7.1</b>	<b>ELECCIÓN DEL TIPO DE ALUMINIO .....</b>	<b>132</b>
7.1.1	PROPIEDADES MECÁNICAS GENERALES .....	132
7.1.2	ALEANTES Y CLASIFICACIÓN DE LAS ALEACIONES DEL ALUMINIO .....	135
7.1.3	INFLUENCIA DE LOS TRATAMIENTOS EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS .....	142
<b>7.2</b>	<b>PROCESOS DE FABRICACIÓN DEL CHASIS .....</b>	<b>144</b>
7.2.1	EXTRUSIÓN .....	144
7.2.2	FUNDICIÓN DE PIEZAS .....	146
7.2.3	MECANIZADO .....	148
7.2.4	DOBLADO.....	151
<b>8</b>	<b>MODELO FINAL EN DETALLE .....</b>	<b>153</b>
<b>9</b>	<b>CONCLUSIÓN.....</b>	<b>160</b>
<b>10</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>162</b>

## **1 OBJETIVOS**

El objetivo general de este proyecto consiste en el diseño y cálculo de un chasis de una moto de competición de 125 cc realizado en aluminio el cual se presentará completamente desarrollado para su posterior fabricación y participación en la competición MotoStudent. El proyecto se ha realizado utilizando el programa Catia V5 para el diseño de los múltiples chasis y el Marc Mentat para el estudio mediante elementos finitos de cada prototipo.

El chasis que se quiere diseñar debe presentar un buen equilibrio en la relación rigidez/peso de manera que pueda soportar tanto el peso de los demás elementos que componen la motocicleta como las tensiones generadas por la interacción entre ellos. De acuerdo al reglamento técnico suministrado por la organización de Motostudent, deben seguirse unas pautas, las cuales restringen ciertos aspectos en el desarrollo del diseño, y cumplir unos plazos de entrega.

De esta forma serán estudiadas distintas alternativas existentes en la actualidad en el mercado, analizando y valorando cada una de ellas, y comparándolas entre sí. Todo ello con el objetivo de dar con la mejor solución que permita alcanzar los fines perseguidos. Esto supone un intenso proceso de información, investigación y recopilación de información de diversas fuentes, que permitan obtener el conocimiento suficiente para poder realizar la elección de modo acertado.

Una vez elegido el tipo de bastidor más adecuado para el material especificado, se comenzará el diseño del chasis realizando diferentes prediseños que serán valorados mediante herramientas de elementos finitos en busca del más adecuado según nuestras necesidades. Para ello serán sometidos a diferentes situaciones de carga para ver su comportamiento en carrera, obteniendo así resultados analíticos adecuados para su posterior comparación.

Finalmente se realizará un diseño más exhaustivo del chasis incluyendo todos los pequeños detalles. Tras la fabricación del bastidor serán necesarios ensayos para comprobar su comportamiento real, esperando un comportamiento similar al obtenido en la teoría.

## **2 PUESTA EN MARCHA**

La idea de la realización de este proyecto surge como resultado de la participación en la competición de Motostudent. El diseño de una moto de competición es un proyecto muy extenso el cual debe ser abordado por un equipo, en nuestro caso formado por 14 personas. Se requiere el diseño de una gran cantidad de sistemas y mecanismos, entre los que se encuentran el chasis, sistema de admisión y de escape, basculante, aerodinámica, dirección, etc.

A continuación se hará una presentación de Motostudent para situar de manera más adecuada el proyecto.

### **2.1 MOTOSTUDENT**

#### **2.1.1 LA COMPETICIÓN**

La competición MotoStudent promovida por la fundación Moto Engineering Foundation (MEF) es un desafío entre equipos universitarios de distintas universidades españolas, europeas y del resto del mundo. Consiste en diseñar y desarrollar un prototipo de moto de competición de pequeña cilindrada 125 2tiempos, que competirán con su evaluación pertinente, en unas jornadas que se llevarán a cabo inicialmente en las instalaciones de la Ciudad del Motor de Aragón. Para el propósito de esta competición, cada equipo universitario debe considerarse integrado en una empresa fabricante de motos de competición, para desarrollar y fabricar un prototipo bajo unos condicionantes técnicos y económicos dados. La competición en sí misma es un reto para los estudiantes, en la cual en un periodo de tiempo de tres semestres han de demostrar y probar su capacidad de creación e innovación y la habilidad de aplicar directamente sus conocimientos y capacidades como ingenieros enfrentándose a su vez a la competencia que suponen los demás equipos.



## **2.1.2 FASES DE LA COMPETICIÓN**

La competición tiene una duración de 18 meses en los que debemos plantear todo el escenario real de un equipo de motociclismo de competición. Para ello los equipos partimos de un planteamiento realista donde, una vez establecidos los componentes del mismo, se debía buscar apoyo externo y, sobre todo patrocinadores que aportaran la financiación necesaria y/o equipos, componentes, apoyo técnico, asesoría, etc.

Una vez obtenido el importe mínimo necesario para asegurar la participación en la competición y justificado dicho soporte económico a la Organización, se pasa a la siguiente fase, diseño. En esta fase, en la que nos encontramos actualmente, debemos diseñar completamente la moto de competición ciéndonos a un reglamento técnico y organizativo, cumpliendo los plazos fijados por la Organización, y ajustándonos a los recursos puestos a disposición del equipo por los patrocinadores, colaboradores y la universidad. A la par que el diseño de los distintos componentes, se deberán desarrollar distintos medios para la construcción de los componentes que lo requieran así como la compra de otros elementos, para de esta forma llegar a construir la moto.

A lo largo de todo el proceso también será preciso realizar numerosas pruebas de diseños, componentes, y puesta a punto de un prototipo que permita realizar los ajustes pertinentes que garanticen una mínima competitividad de la moto durante la competición. Además también se deberá estar atento a las posibles modificaciones que pueda realizar la Organización respecto a cualquiera de los aspectos que engloban a la competición, ya que se encuentra abierta a cualquier tipo de reajuste en función de la marcha de los acontecimientos.

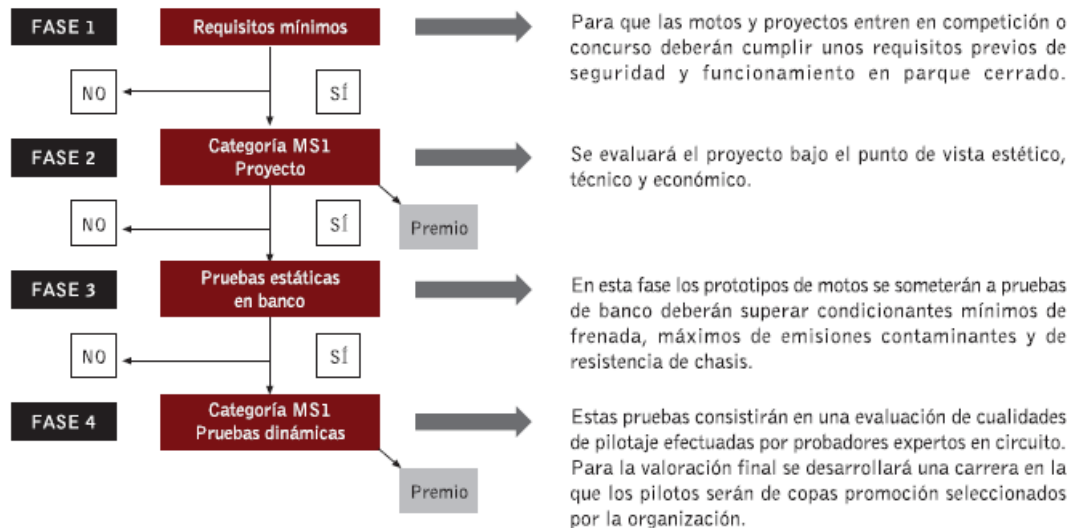
Durante toda la competición (fase de diseño y carrera), la Organización exigirá a los equipos ciertas justificaciones así como requisitos mínimos que deba cumplir la moto, siendo los siguientes:

- Presentación de justificación de sponsors. En la que los equipos participantes deben justificar de forma clara que empresas e instituciones sufragan la construcción del prototipo, antes del 8 de Mayo del 2009.
- Presentación de diseño cerrado. Antes del 31 de Marzo de 2010 los equipos participantes presentarán a la Organización información gráfica en detalle del prototipo que será guardada por la Organización. Esta información debe permitir a los jurados, sin manipulación informática alguna, verificar los futuros prototipos. Esta documentación sólo será analizada por los jurados en las jornadas de competición y validarán que el prototipo presentado responde a esa información.



- Presentación de un prototipo por parte de cada equipo para que sea revisado por los inspectores conforme a los aspectos dimensionales y de seguridad que indica el reglamento técnico.
- Realización de una prueba mínima de funcionamiento en parque cerrado, la cual consistirá en una prueba de arranque y parada y de maniobrabilidad a derechas e izquierdas entre 10 conos situados a 3 m de distancia.
- Presentación, en el stand de la organización, de los paneles informativos que se consideren convenientes.
- Defensa del proyecto industrial ante un jurado de expertos elegidos por la organización.
- Comprobación de la seguridad de la motocicleta en el banco de pruebas como garantía de robustez, fiabilidad y seguridad ante las pruebas en circuito. Así las motos deberán superar las siguientes pruebas:
  1. Prueba de resistencia de chasis según especificaciones de reglamento técnico.
  2. Prueba de frenada en banco de rodillos según especificaciones de reglamento técnico.
  3. Análisis de gases de escape según especificaciones de reglamento técnico.
- Aquellos equipos que hayan superado las pruebas de seguridad pondrán sus motos a disposición de profesionales de pruebas y ensayos elegidos por la Organización que harán una valoración de sus prestaciones en el circuito de velocidad. Cada moto será probada por un mínimo de tres pilotos, los cuales evaluarán:
  1. Capacidad de frenada
  2. Capacidad de aceleración
  3. Maniobrabilidad
  4. Estabilidad
  5. Velocidad punta
- Desarrollo de la carrera en el circuito de Alcañiz en donde las motos serán probadas por pilotos de categoría promoción seleccionados por la organización y sorteadas entre ellos.

De una forma más esquematizada, las fases del proceso de validación del prototipo serían.



La competición de MotoStudent es sobre todo una competición ingenieril, no pudiendo ser resumida en una sola carrera. El equipo ganador será el que consiga la mayor cantidad de puntos en las distintas fases. La evaluación corresponderá en cada caso a un jurado designado por la organización. Los puntos serán repartidos de la siguiente forma.

**1. Proyecto industrial, máximo de 600 puntos divididos en:**

- Diseño industrial: 150 puntos
- Análisis y cálculos técnicos: 175 puntos
- Definición del sistema de fabricación e industrialización: 175 puntos
- Análisis de costos del desarrollo del prototipo y del proceso industrial de fabricación: 100 puntos

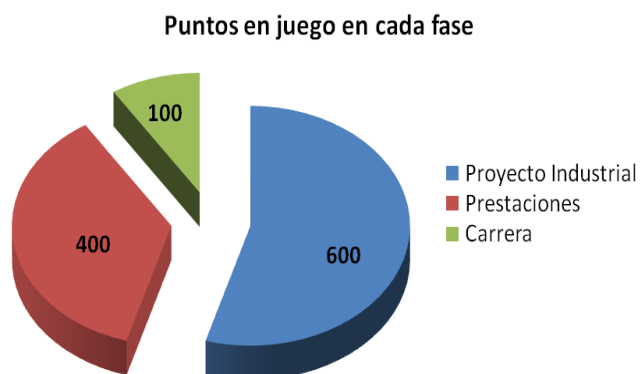
**2. Evaluación de las prestaciones, máximo de 400 puntos divididos en:**

- Capacidad de frenada: 80 puntos
- Capacidad de aceleración: 80 puntos
- Maniobrabilidad: 80 puntos
- Estabilidad: 80 puntos
- Velocidad punta: 80 puntos

### 3. Carrera, máximo de 100 puntos para el vencedor:

Puesto en carrera	Puntos
Primero	100
Segundo	90
Tercero	85
Cuarto	80
5º a 9º	76-60 (4 puntos de diferencia entre cada puesto)
10º a 15º	57-42 (3 puntos de diferencia entre cada puesto)
16º a 30º	40

Aquellos equipos que no terminen la carrera no obtendrán ningún punto en esta fase.



Este sistema de puntuación permite a la Organización premiar los mejores proyectos industriales y de diseño, dando menos importancia a la carrera, donde pueden intervenir muchos factores que se les escape al control de los participantes. Entre los cuales podemos nombrar la elección del piloto, elegido al azar entre unos candidatos proporcionados por la organización el mismo fin de semana de la carrera. Observando la puntuación de la carrera, se puede ver que las diferencias por puesto no son muy exageradas, dándole una mayor importancia al hecho de haber construido una moto capaz de correr y completar la prueba.

#### 2.1.3 EL EQUIPO

El equipo que representa a la UPNa en esta competición, se constituyó en un principio con 11 estudiantes de esta misma universidad de las titulaciones de Ingeniería Industrial (II) e Ingeniería Técnica Industrial Mecánica (ITIM), si bien actualmente consta de un total de 14 estudiantes.

Nombre	Titulación	Curso	Proyecto
Maite Apesteguía Amorena	ITIM	3	Maqueta 3D
Javier Arana Santamaría	II	5	Industrialización serie de 500 unidades
Maite Arbeloa Murillo	II	5	Pruebas del motor
Ignacio Arenaza Borja	ITIM	3	Basculante
Xabier Arteta Erviti	II	5	Fabricación del prototipo
Ángela Cildoz Guembe	ITIM	3	Estudio del escape
María Cildoz Guembe	ITIM	3	Estudia de la admisión
Iria Coba Antón	II	5	Chasis alternativo de aluminio
Joaquín Eransus Soba	II	5	Industrialización serie de 500 unidades
Ibai Irigoien Ulyar	II	5	Determinación de geometría básica y cargas
Álvaro Larumbe Valencia	II	5	Piecerío y dirección
Ernesto Limousin Aranzábal	II	5	Chasis de acero
Miguel Ángel Urgelles Asensio	II	5	Gestión y organización
Unai Zabala Versteeg	II	5	Aerodinámica

Todos ellos cumplen con los requisitos impuestos por la Organización del evento para poder participar en la competición. El equipo está dirigido por los profesores de la UPNa:

- José Sancho
- Cesar Díaz de Cerio

Al ser requerido un nombre que representara a todo el conjunto de estudiantes y profesores, el equipo ha sido inscrito en la competición como: ETSIIT-UPNa Racing.



Además contamos con un grupo de apoyo que participa en el desarrollo técnico, pero sin estar inscritos oficialmente en la competición, que aportan conocimiento y ayuda al grupo oficial en el desarrollo de toda la competición.

### **3 PUNTO DE PARTIDA**

Para iniciar el diseño del chasis es necesario conocer las pautas establecidas por la Organización, ya que serán impuestas unas especificaciones de partida para el diseño de todas la motos que van a participar en la competición. En este punto se conocerán las limitaciones y libertades que se poseen a la hora de diseñar de manera que la moto sea validada y pueda competir en el evento.

#### **3.1 REGLAMENTO TÉCNICO**

Este reglamento ha sido establecido por la Organización (Anexo II), el cual contiene la normativa técnica reguladora de la competición. Con él se pretende estandarizar y acotar la gran variedad de posibilidades que existe en la construcción de un prototipo de moto de competición. De este modo todos los proyectos presentados por las diferentes universidades inscritas en la competición se ajustarán a una línea de trabajo orientativa y común, posibilitando una competencia objetiva entre los participantes.

De manera que el primer paso a dar en la realización de este proyecto consistirá en el análisis detallado de dicho documento para conocer los límites dentro de las posibilidades respecto al diseño de la moto, y más concretamente del chasis. Por tanto, este estudio deberá centrarse en las partes del Reglamento referentes a todo aquel elemento o sistema relacionado con el chasis y que pueda influir en la realización de este proyecto.

##### **3.1.1 LA MOTOCICLETA**

La motocicleta es un modelo para pista de tipo carreras, y paralelamente se irá desarrollando una simulación de su producción en cadena, requisito para participar en la competición. En los últimos años se ha potenciado la construcción de motocicletas de 4 tiempos, lo que ha supuesto una reducción importante en las de 2 tiempos. En este sentido, cabe destacar que las de 2 tiempos requieren una conducción más exigente, siendo adecuada para pilotos amateur. Además de que presentan una mejor relación peso-potencia, y aunque tenga un mayor consumo de combustible, no supone un grave problema en circuito.

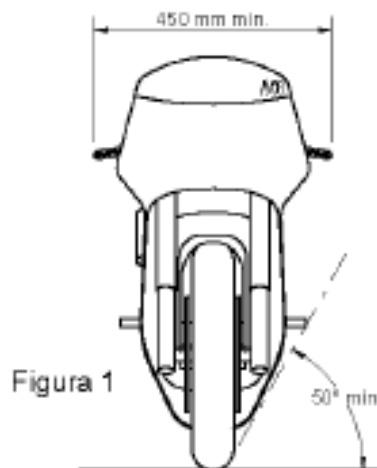
El objetivo de la competición es la construcción de un vehículo de dos ruedas a motor de combustión interna. Dicho vehículo será concebido para el pilotaje de un solo ocupante. La motocicleta deberá ser un prototipo diseñado y construido para la competición de carreras de velocidad.

### 3.1.2 REQUERIMIENTOS GENERALES DEL DISEÑO

#### ❖ *DIMENSIONES*

Las dimensiones de la motocicleta son libres exceptuando algunos requisitos básicos:

- La anchura mínima entre los extremos de los semimanillares ha de ser de 450 mm.
- El ángulo mínimo de inclinación lateral de la motocicleta sin que ningún elemento de la misma toque el pavimento debe ser 50°. Dicha medición se realiza con la motocicleta descargada pero con todo el equipamiento y líquidos para su funcionamiento.



*Figura 3.1*

- La distancia libre al pavimento con la motocicleta en posición vertical ha de ser de un mínimo de 100 mm en cualquier situación de compresión de suspensiones y reglajes de geometrías.
- Limite posterior: Ningún elemento de la motocicleta podrá rebasar la línea tangente vertical trazada a la circunferencia exterior del neumático trasero.

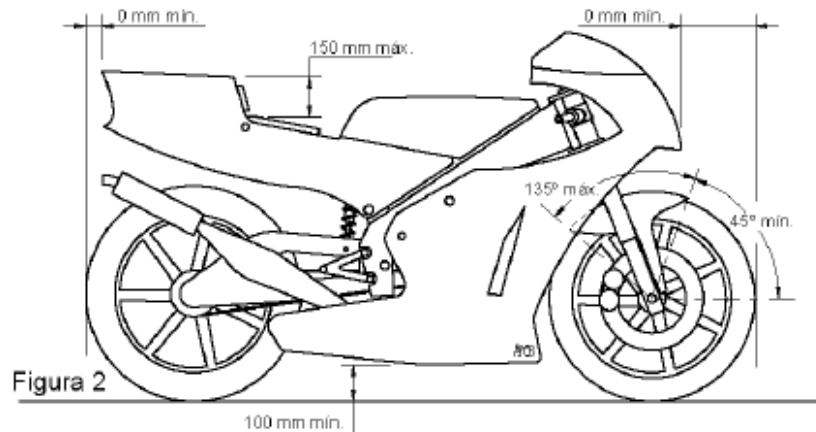


Figura 3.2

- La distancia de los neumáticos a cualquier elemento de la motocicleta diferente de la rueda no podrá ser inferior a 15 mm en toda posición de la misma y reglaje de geometría.
- La anchura máxima del asiento debe ser de 450 mm. No podrá sobresalir de esa anchura ningún otro elemento de la motocicleta del asiento hacia detrás excepto el sistema de escape.

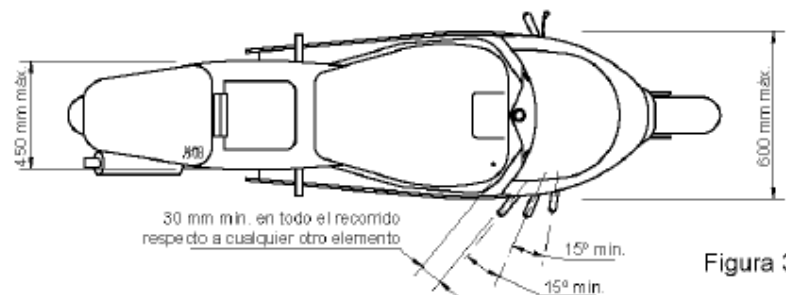


Figura 3.3

### ❖ PESOS

El peso mínimo del conjunto de la motocicleta en orden de marcha incluido depósito, gasolina y líquidos en ningún momento de las pruebas deberá ser inferior a 90 kg. El peso se podrá verificar tanto al inicio, durante y al final de la competición. Esta permitido lastrar el vehículo para alcanzar el peso mínimo.

## ❖ **CICLÍSTICA**

### ✓ **Bastidor**

El diseño, el proceso y el material utilizado para la fabricación del bastidor es libre excepto las siguientes consideraciones:

- No está permitido fabricar el chasis en titanio ni en aleaciones de titanio.
- El bastidor definitivo a presentar en la competición deberá haber superado el proceso de homologación por parte de la organización.
- No se permite el uso de un chasis comercial ni tan siquiera una unidad modificada. Debe de tratarse de un chasis prototipo de fabricación propia.

### ✓ **Suspensiones**

El diseño de la suspensión delantera y trasera es libre pero en caso de horquilla delantera y amortiguador trasero deberán ser los proporcionados por la organización. No se permite la modificación estructural de los mismos, solo el cambio de muelles y viscosidad del aceite.

### ✓ **Dirección**

En todo el recorrido de giro de la dirección no deberá existir ningún elemento que interfiera en una tolerancia de 30 mm entorno a los puños del manillar a accionamientos.

El ángulo mínimo de giro de la dirección deberá ser de 15° medidos a cada lado del eje longitudinal de la motocicleta y deberá estar limitado por un tope a cada lado.

### ✓ **Estriberas**

Como requisito deberán tener protegidos los extremos con un tope de nilón de un radio mínimo de 8 mm. Deberán disponer de protectores laterales para evitar que la bota del piloto pueda interferir con elementos móviles como cadena o neumático trasero.

### ✓ **Llantas y neumáticos**

La organización suministra las llantas y neumáticos y se prohíbe su modificación, salvo en anclajes de disco salvaguardando en todo caso la rigidez de las mismas.

Está prohibido el uso de titanio, aleaciones ligeras y compuestos de fibra en la fabricación de los ejes de las ruedas.

Los ejes de la rueda no podrán sobresalir de su alojamiento en sus extremos más de 30 mm.



### **3.1.3 MOTOR**

Se deberá utilizar el motor entregado por la competición, el cual se entregara sellado y se prohíbe totalmente su manipulación interna.

### **3.1.4 PROCEDIMIENTO DE VERIFICACIONES TÉCNICAS**

Para el control y verificación de vehículos se creara una ficha por cada prototipo. Este documento será rellenado por los verificadores técnicos en la fase previa a la competición. Una vez contrastados todos los apartados se deberá dar la calificación de “apto” para poder participar en las diferentes pruebas. Tras la verificación se fijara un adhesivo de la organización comprobante de la aceptación del prototipo.

#### **❖ HOMOLOGACIÓN DEL CHASIS**

La organización se reserva el derecho de verificar el chasis mediante una prueba previa a la competición. Será necesario presentar un estudio teórico de cargas sobre el chasis. La prueba se realizará en un potro de ensayo en la cual serán aplicadas dos tipos de carga simultáneas. Una carga horizontal progresiva de 250 daN en la dirección longitudinal de la motocicleta en los ejes de la rueda delantera y otra vertical de 200 daK. No se admitirán deformaciones permanentes en la estructura del chasis.

#### **❖ VERIFICACIÓN DE COTAS GENERALES**

Se medirán y supervisaran las cotas generales de diseño estipuladas en el reglamento.

#### **❖ VERIFICACIÓN DE PESOS**

Se acondicionará un centro de verificaciones y controles donde los participantes podrán verificar su vehículo. Se podrá solicitar por la organización controles de pesos en cualquier fase de la competición. Los controles se realizarán sobre el vehículo en orden de marcha con todos sus sistemas y componentes además de los líquidos necesarios para su uso. Inicialmente se realizará una calibración del sistema de medida. Se realizarán tres pesadas del vehículo y la media de los tres resultados será el valor asignado. La tolerancia en la medida es 1 kg por debajo del mínimo.

#### **❖ VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE SEGURIDAD**

Se realizará una verificación completa de cada uno de los puntos referentes a seguridad de cada uno de los apartados descritos en este reglamento. Por encima de cualquier criterio técnico a nivel de prestaciones o construcción del vehículo deberá prevalecer, como prioritario, la seguridad de los participantes. Para ello, todos los prototipos deberán cumplir los requisitos de seguridad en cualquier fase de la competición. De manera especial se hace hincapié en la verificación del vehículo tras haber sufrido un accidente con el fin de garantizar la seguridad del mismo.

### ❖ **ESPACIO EN EL BASTIDOR PARA ADHESIVO DE VERIFICACIÓN TÉCNICA**

Se deberá proveer al bastidor de un espacio mínimo de 70 mm de ancho por 40 mm de alto para la fijación del adhesivo de verificación de la organización. Si no directamente en el bastidor, se deberá habilitar una placa para la fijación del mismo.

## **3.2 COMPONENTES ESTÁNDAR**

La Organización proporciona una serie de piezas que deben ser incorporadas por todos los equipos en las motocicletas, en base a las cuales debe desarrollarse el resto del prototipo. Lo que se busca con estas restricciones es encontrar un punto de partida común para todos los equipos facilitando el inicio del diseño global de la motocicleta y de esta manera ajustar los prototipos a una línea de trabajo, posibilitando una competencia objetiva entre los participantes.

Las piezas proporcionadas por la Organización son:

### **3.2.1 EL MOTOR**

El motor es el modelo MEH 12-08 de la marca Gas-Gas. Es un motor de dos tiempos que cuenta con un cilindro. La refrigeración se lleva a cabo de forma líquida. El diámetro por carrera es de 54 x 54,5 y la cilindrada total es de 124 cc. Tiene encendido electrónico CDI (KOKUSAN FP 8050), mientras que el arranque es a palanca. El embrague funciona con accionamiento hidráulico y cuenta con multidisco en baño de aceite. El cambio presenta seis velocidades y la transmisión primaria es por engranajes. La caja de láminas es VForce 3 y por último la válvula de escape es mecánica centrífuga.



*Figura 3.4- Motor MEH 12-08*

A la hora de diseñar el bastidor, los elementos a tener en cuenta son:

- Anclajes: se encuentran en su parte inferior del motor ya que está diseñado para una motocicleta de enduro, que va sujeta mediante una jaula.
- Posición de la salida del escape: posición importante para permitir el acople del tubo de escape sin que interfiera con el chasis y se pueda amarrar a éste.
- Posición del carburador: posición decisiva para que no interfiera con el chasis y colocar el airbox.
- Posición del piñón: elemento importante para el comportamiento dinámico de la motocicleta.

### **3.2.2 HORQUILLA DELANTERA**

La horquilla es la que monta la Yamaha yzf 125 cc.

### **3.2.3 AMORTIGUADOR TRASERO**

El amortiguador es muy sencillo tal y como se muestra en la imagen, tratándose de un amortiguador SACHS.



*Figura 3.5-Amortiguador SACHS*

### **3.2.4 LLANTAS**

Las llantas proporcionadas son las que monta la Derbi gpr de 50 cc.

### 3.2.5 NEUMÁTICOS

Los neumáticos son de DUNLOP motorsport, el delantero es un 95/70R17 y el trasero 115/70R17, ya que el trasero debe tener más anchura.

### 3.2.6 RESTO DE ELEMENTOS

También serán suministrados:

- ECU
- Bujía
- Palanca de cambios
- Bobina
- Pipa
- Sistema de frenos:
  - Bomba
  - Pinza delantera
  - Pinza trasera
  - Maneta

## 4 CHASIS DE UNA MOTOCICLETA

### 4.1 HISTORIA

La motocicleta está formada por un conjunto de mecanismos, cada uno con una función concreta. La función del chasis es servir de apoyo y sujeción al resto de los elementos que forman la motocicleta. Por una parte, sujetar el motor, y por otra, las ruedas, suspensiones y el propio ocupante. Inicialmente los chasis derivaron de los de las bicicletas formándose a base de tubos metálicos en los que el motor se instalaba entre las dos ruedas, con el piloto sobre él.

La importancia de la rigidez del bastidor ha sido fundamental para el desarrollo de la moto, pero también el conseguir armonizar esta rigidez con un peso contenido que permitiera unas mínimas prestaciones y un buen comportamiento dinámico.

Haciendo un breve repaso histórico de los bastidores, comenzamos con la motocicleta de los hermanos **Werner** de 1901, probablemente la primera moto con una

estructura pionera de las actuales. Siendo básicamente un bastidor tubular de bicicleta reforzado que ya instala el motor en su parte central y adopta la horquilla como método para la dirección del vehículo. El depósito de gasolina se encuentra en la parte superior y la estructura está formada por tubos de acero de pequeña sección, logrando una estructura cerrada, rígida y ligera. De esta forma nos encontramos con uno de los elementos que ayudan a rigidizar la moto, la “cuna”. Ésta puede ser simple o doble, cerrada completamente o abierta en la zona del motor.

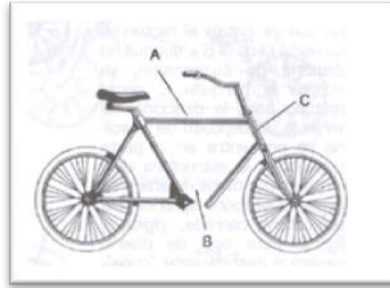


Figura 4.1-Chasis Werner

Con el tiempo la rigidez debe aumentar y los tubos van agrandando su sección, al tiempo que los diseñadores más originales comienzan a innovar formas y diseños. La **Scott** de 1909 plantea un bastidor abierto por su parte superior, en el que el motor realiza una importante función portante. Ya hay suspensión delantera, aunque la rueda trasera todavía tiene un anclaje fijo, y el motor se sitúa de nuevo en la parte inferior.

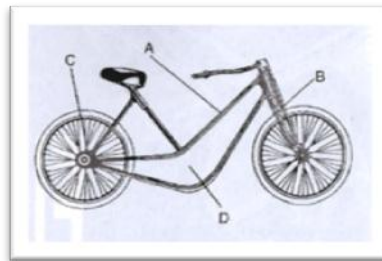


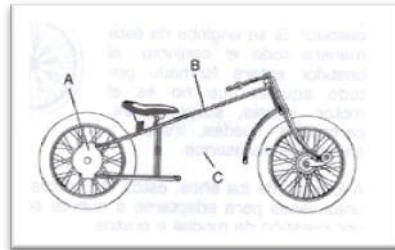
Figura 4.2-Chasis Scott

Encontramos nuevos conceptos en la **Mars** de 1920, aunque no es la primera que los adopta. Los tubos de sección cerrada se cambian por la chapa estampada, que no plantea tantos problemas de uniones soldadas y dispone de una gran rigidez. Su principal inconveniente es el peso, habitualmente mayor, pero su resistencia, en unos momentos en los que el estado de la carretera es bastante precario, suele compensar sus defectos. En este chasis, la unión de la rueda trasera con el anclaje de la suspensión delantera es prácticamente directo, algo que sólo 60 años más tarde volvería a adquirir importancia. La viga de sección cuadrada forma prácticamente la estructura, de modo que el resto de elementos se sujetan a ella mediante tirantes.



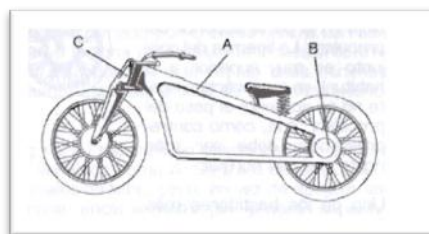
*Figura 4.3-Chasis Mars*

La **BMW R32** de 1923 no presenta grandes novedades respecto a lo conocido en ese momento, pero aprovecha el sistema de transmisión como elemento resistente, jugando con una gran ligereza y de nuevo utilizando el tubo de acero, aunque intentando emplear las mínimas cantidades, estudiando los puntos más adecuados. De nuevo, el motor tiene una gran importancia en la función resistente del chasis.



*Figura 4.4-Chasis BMW*

De nuevo nos encontramos con un chasis de chapa de acero, pero con catorce años de evolución con respecto al anterior. En este caso, es el de la **Zundapp K 800** de 1934. La chapa ya no se emplea de la manera tan masiva, con el fin de reducir el peso del conjunto. La chapa se corta y se dobla mediante nuevos procedimientos, y su estructura es aun más dura y rígida. Se siguen las líneas maestras de los bastidores tubulares, rodeando el motor, y aunque las primeras suspensiones traseras han aparecido hace tiempo, aun no están implementadas plenamente, de modo que el bastidor llega hasta el anclaje del tren posterior. Las suspensiones delanteras van variando, pero todavía no han llegado a la horquilla telescópica que se impondrá.



*Figura 4.5-Chasis Zundapp*

A finales de la década de los treinta aparece una motocicleta exclusiva. Está dotada de un nuevo bastidor tan exclusivo como ella, la **Vincent HRD Rapid** de 1939. El motor situado en la posición B tiene una posición portante muy importante, hasta el punto de que la suspensión trasera está directamente anclada a él por su parte trasera mediante un tirante. La suspensión delantera también se ancla al motor mediante un pequeño elemento intermedio que se aloja en la parte superior del propulsor. La ligereza del conjunto es muy superior a la habitual, ya que prácticamente no se aumenta el peso, pero debe ser más rígido que uno normal.

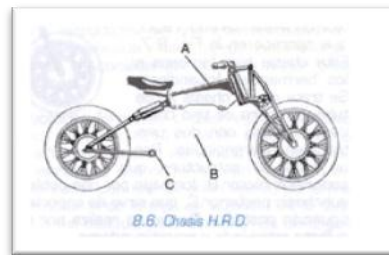


Figura 4.6-Chasis HRD

Uno de los bastidores más famosos de la historia es sin duda el que equipaba la **Norton Manx** de 1950. Este chasis hizo famosos a los hermanos McCandless, el cual consiste en una estructura de tubo de acero de tipo doble cuna cerrada con dos partes bien diferenciadas. Por un lado, la estructura que soporta el motor, formada por la doble cuna cerrada, y por otro, un subchasis posterior que sirve de soporte para el piloto y para la amortiguación posterior, que se realiza por medio de un sistema de basculante articulado y amortiguadores.

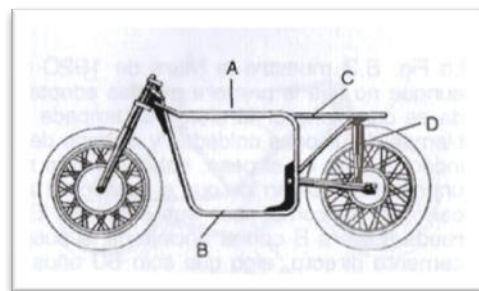


Figura 4.7-Chasis Norton

Las virtudes del chasis de esta moto, que llegó a tener hasta nombre, llamándose “Featherbed” (lecho de plumas), hicieron famosa a esta moto, que se convirtió en una de las mejores armas para la competición, a pesar de su menor potencia.

La competición siempre ha sido uno de los grandes motores de la evolución de las motocicletas, sobre todo desde finales de la segunda guerra mundial, cuando alcanzó una gran repercusión publicitaria. En la **Honda CR72** de 1963 el motor se vuelve a emplear como un elemento estructural importante, en la que el chasis sortea por la

parte superior al motor, pero mantiene en su estructura tanto el anclaje de la suspensión delantera como el de la trasera, la horquilla y el basculante. Esta suspensión trasera se mantuvo invariable durante unos años en la mayoría de las motos.

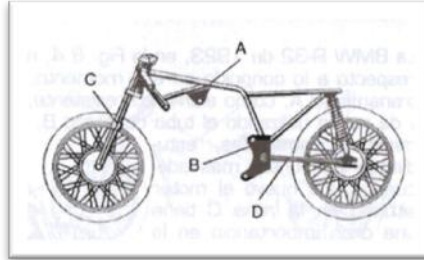


Figura 4.8-Chasis Honda

Lo visto hasta ahora son chasis realizados en chapa, pero no como el de la **Ossa** de competición de finales de los años 60 integra además el depósito de gasolina en la zona media. En este caso, el material deja de ser por primera vez acero para ser una aleación de magnesio, un material mucho más ligero que el hierro habitual. El chasis es muy rígido al estar formado por una estructura cerrada en su mayor parte, ya que salvo la zona de anclaje del basculante, está completamente cerrado. Esto le permite a la vez unas mínimas dimensiones y un peso muy liviano. Estamos hablando de la estructura monocasco.

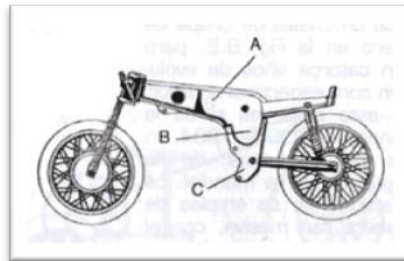


Figura 4.9-Chasis Ossa

La Norton Challenge contiene un chasis llamado multitubular, el cual es una derivación de los bastidores tradicionales de tubo, pero en vez de adoptar las clásicas estructuras de tipo cuna, ancla el motor por la parte superior con numerosos tubos de sección recta, de modo que los tubos no trabajen a esfuerzos de flexión. De esta manera, aumenta considerablemente la rigidez de la estructura, sin que ello represente un mayor peso. Es una estructura cara y complicada, pero hasta la llegada de los siguientes bastidores, fue considerada la mejor para las motocicletas de altas prestaciones.



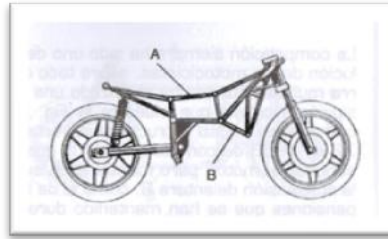


Figura 4.10-Chasis Norton

La gran revolución de la estructura y forma de chasis llegó a principios de los años 80, cuando prácticamente a la vez Yamaha y un pequeño constructor de motos de carreras, **Antonio Cobas**, presentan la estructura que con el tiempo pasaría a llamarse “doble viga”. En este caso, con una aleación ligera, se forma una estructura que une directamente la pipa de sujeción de la suspensión delantera con el eje del basculante. Se consigue una estructura muy rígida y a la vez ligera y sencilla de fabricar. Desde entonces los bastidores han evolucionado hacia esta estructura, primero engordando las secciones superiores de sus cunas, y finalmente, eliminando las secciones inferiores o manteniéndolas como soportes del motor únicamente.

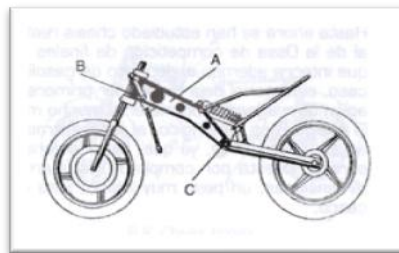


Figura 4.11-Chasis Kobas

Por último, tenemos un bastidor de última generación, el que equipa la **Yamaha GTS**, en cuyo caso, al haberse obviado la clásica suspensión delantera por horquilla a favor de un nuevo sistema, el bastidor no necesita comenzar en la parte superior, y forma una estructura que abraza el motor uniando los puntos de anclaje de las suspensiones delantera y trasera, mediante gruesas vigas de aleación ligera.

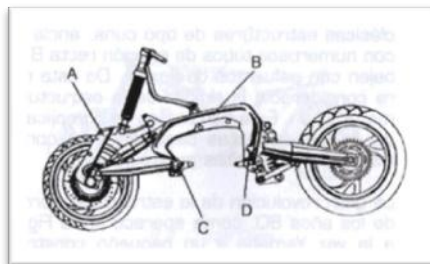


Figura 4.12-Chasis Yamaha

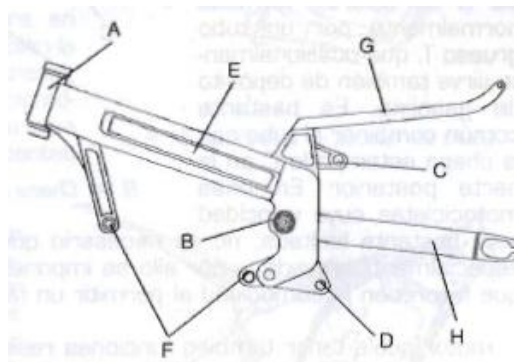
A lo largo de la historia, se han empleado otros tipos de bastidores, pero éstos son los más significativos. La mayoría han sido y son de tipo cuna, realizados en tubos de acero de distintas secciones. En la actualidad, los tipos de doble viga dominan el mercado de la moto de carreras, donde el precio de las aleaciones ligeras está permitido. El acero y el aluminio son los materiales empleados, aunque el acero tiene un menor coste.

## 4.2 ESTRUCTURA DE UN CHASIS

La estructura general de un chasis, independientemente de su tipo, es prácticamente invariable en todas. Como podemos ver en la figura por una parte, tenemos la zona de anclaje de la suspensión delantera “A”. Al ser ésta 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 y en la más alta del chasis. El otro punto de anclaje de la suspensión es el “B”, eje del basculante, el cual está sometido a muchos esfuerzos y debe ser lo más rígido posible. El amortiguador trasero se coloca anclado al basculante y al chasis “C” y según el sistema utilizado puede tener un sistema de bieletas que se anclará en “D”. La unión de la pipa con el eje del basculante se hace mediante la estructura “E” y aquí es donde la variedad abunda. Los distintos tipos pueden realizarlo con tubos, chapas, vigas gruesas etc..., siendo éstos igualmente los materiales empleados para los anclajes.

Otros elementos que debe tener el chasis son los anclajes para el motor “F”, lo suficientemente resistentes como para que no les afecte ni el peso ni las vibraciones. El motor es ocasionalmente parte de la estructura del chasis, ya que, debido a su gran resistencia, puede realizar funciones portantes, permitiendo que el chasis sea más ligero. También hay que sujetar al piloto mediante el subchasis “G” y los diferentes elementos accesorios como el depósito de gasolina y la carrocería en general, así como los accesorios del piloto. El elemento “H” representa el basculante trasero, pieza que está sometida a unos grandes esfuerzos y que debe ser muy resistente.



*Figura 4.13-Chasis de doble viga*

El chasis de doble viga en aluminio consta de varias partes claramente diferenciadas. En primer lugar tenemos el conjunto de la pipa de dirección, una pieza de fundición de aluminio cuyo agujero para insertar los cojinetes y la sujeción del eje de dirección se mecanizará posteriormente para asegurar las tolerancias necesarias, garantizando que el conjunto de dirección funcione de forma adecuada y según lo previsto.

En segundo lugar, se observan los dos perfiles de aluminio, las vigas, con refuerzos internos que unen el conjunto de la pipa de dirección con la viga cajón que contiene los alojamientos del eje del basculante mediante soldadura. Éstos estarán fabricados mediante mecanizado, para aligerar peso, y posteriormente los ejes para posicionarlos correctamente y establecer las tolerancias necesarias en el anclaje del basculante. Por último se soldaran a las piezas anteriormente mencionadas unos perfiles tubulares para proporcionar rigidez torsional, además de los dos soportes del motor, los cuales irán unidos al chasis por su parte inferior.

### **4.3 FUNCIONES DEL CHASIS DE UNA MOTOCICLETA**

Recibe el nombre de chasis aquella estructura, armazón o bastidor que sujeta las diferentes partes de un chasis. Sus funciones principales son de tipo estático y dinámico. En cuanto a lo estático se refiere, el chasis debe soportar el peso de la moto y piloto o pilotos, el motor y la transmisión y los accesorios necesarios, tales como depósitos de gasolina y aceite. Menos obvia, quizás, sea la función dinámica, pero no por ello menos importante. En conjunto con el resto de la parte ciclo, debe proporcionar una dirección precisa, una buena manejabilidad, un buen agarre y un buen confort.

Para que la dirección sea precisa, el chasis debe resistir adecuadamente los esfuerzos de torsión y flexión, de forma que las ruedas puedan mantener una relación correcta entre ellas, a pesar de las diferentes cargas impuestas por la transmisión, los baches, las curvas y los frenos. Al mencionar la importancia de mantener una relación correcta, nos referimos a que el eje de la dirección debe permanecer en el mismo plano que la rueda trasera, de forma que la geometría de dirección no se vea afectada por posibles deformaciones del chasis. Un sistema de dirección no puede considerarse como efectivo si las ruedas no se encuentran en contacto con el suelo, especialmente en el caso del tren delantero.

Por otra parte, el chasis debe permitir una buena manejabilidad de la moto, entendiéndose la manejabilidad como el esfuerzo físico necesario para que la moto responda a las acciones del piloto. Este aspecto depende fundamentalmente de la altura del centro de gravedad, el peso, la rigidez, la geometría de dirección, el tamaño de los neumáticos y los momentos de inercia de las ruedas y el conjunto moto/piloto.

Otro aspecto importante a considerar es el confort del piloto para así poder minimizar el cansancio. Para ello es necesario que la suspensión absorba los baches sin sacudir al piloto ni producir movimientos de cabeceo. El chasis debe ser capaz de soportar todos estos efectos sin que existan deterioros o fallos.

Una última consideración a tener en cuenta en el diseño del bastidor es el cumplimiento de un compromiso. Este compromiso vendrá dado por el uso que le vayamos a dar a la moto, los materiales que tenemos a nuestro alcance y el precio que el cliente esté dispuesto a pagar.

## **4.4 TIPOS DE CHASIS**

Tras haber conocido una pequeña relación de los chasis empleados a lo largo de la historia, a continuación se comentarán los más comunes en la actualidad.

### **4.4.1 MONOVIGA**

Este título cubre varios tipos diferentes de chasis (espina central, monocasco y doble viga) que usan miembros de gran sección para conseguir una rigidez inherente ante cargas de torsión y flexión. Las vigas se pueden combinar también con triangulación para obtener un diseño práctico. En la práctica, se debe adoptar un compromiso entre el espesor de la pared y el diámetro del tubo. Las zonas en las que hay uniones, como extremos de nervios y soportes, son zonas típicas de concentración de tensiones, por lo que se requiere un cambio gradual de flexibilidad.

#### **❖ *Espina central***

Existe una gran variedad de posibilidades para fabricar este tipo de chasis. La solución más popular consiste en una estructura con forma de T compuesta por dos chapas de acero estampado unidas mediante soldadura por puntos o por resistencia.

Este tipo de construcción consigue una gran rigidez con un coste de producción muy bajo, aunque el elevado desembolso inicial en útiles de fabricación deja a un lado su empleo en prototipos y pequeñas series. También, el producto final es más pesado que un chasis de la misma rigidez fabricado con tubo, debido al inevitable exceso de metal en zonas de bajas tensiones.

La rigidez es alta, al igual que el peso, aunque puede ser fabricado en acero o aluminio, lo cual reduciría el peso considerablemente. Pero los útiles necesarios para su fabricación son caros.



*Figura 4.14-Chasis de espina central*

#### ❖ **Monocasco**

Este tipo de chasis es muy poco utilizado debido, principalmente, a sus dificultades de fabricación y de espacio. Una de las características indispensables de un chasis es su facilidad de acceso para realizar los reglajes necesarios, sobre todo en carrera. Este tipo de chasis consigue su rigidez estructural mediante una “coraza” completamente aerodinámica y unos refuerzos transversales.

Fabricado en aluminio tiene una rigidez aceptable y un peso medio. Cuenta con poco espacio interior, lo que dificulta el trabajar cuando la moto se encuentra en carrera. Además de que su coste de fabricación es elevado.



*Figura 4.15- Chasis monocasco*

#### ❖ **Doble viga**

El chasis de última generación en las motocicletas deportivas más potentes y en casi todas las motos de competición, motos de altas prestaciones. Consiste en dos vigas, normalmente de aluminio, que están situadas a ambos lados del motor uniendo la pipa de dirección con el alojamiento del eje del basculante. Son chasis extremadamente ligeros y rígidos con una soldadura limpia y mimada.

En muchos de los casos, la zona de la pipa de dirección, los alojamientos del eje del basculante y los soportes traseros del motor son de fundición y están soldados a las vigas laterales. El subchasis suele ir atornillado al chasis principal.

Una de las ventajas claras de este tipo de chasis frente a los multitubulares es el espacio que dejan en la parte central para poder trabajar y permitir la utilización de grandes motores. El acceso es mucho más fácil para trabajar en el motor y en particular para acceder a los carburadores y las bujías. La eliminación de los tubos que rodeaban al motor por debajo y por delante, proporciona un espacio libre muy útil para los sistemas de escape y refrigeración.



*Figura 4.16-Chasis doble viga*

La mecanización de los bloques de aluminio eleva mucho el precio de fabricación, por lo que la chapa doblada o la extrusión son algunas de las alternativas utilizadas para la fabricación de estos chasis. El espacio que deja en la parte central, entre las dos vigas, hace que sea una de las mejores opciones para las motos de competición. Además de ser una de las más ligeras, ya que se realiza en aluminio, y al mismo tiempo mantiene la consistencia y rigidez.

#### **4.4.2 CHASIS TUBULARES**

##### **❖ *Tubular convencional***

Chasis basado en la soldadura o unión con pegamentos de alta resistencia de tubos de acero o aluminio que forman una red de largueros y travesaños alrededor del motor. Aunque es uno de los más comunes, es el peor en términos de eficiencia estructural. Su diseño queda determinado principalmente por la disponibilidad de espacio y por consideraciones de moda o estilo.

Fundamentalmente consiste en un conjunto de tubos de medio tamaño, doblados alrededor del motor para conectar la pipa de dirección con el eje del basculante. El diámetro del tubo es demasiado pequeño para conseguir ganar algo de la rigidez a flexión y a torsión, ofrecida por la propia sección del tubo. Normalmente estos diseños no consiguen proporcionar una triangulación significativa.

Este chasis puede ser fabricado en acero o aluminio. A la hora de su fabricación puede presentar problemas con los tubos curvados, ya que su rigidez no es demasiado elevada y hay que tener cuidado.



*Figura 4.17-Chasis tubular convencional*

#### ❖ ***Tubular triangulado***

Aunque este tipo de chasis puede conseguir una eficiencia estructural extremadamente elevada, no ha encontrado demasiados seguidores entre los fabricantes más grandes. Probablemente esto se debe a que debido a la forma y al tamaño de los motores más comunes, es necesaria una estructura ancha y complicada.

El empleo de tubos largos de pequeño diámetro puede suponer un problema, ya que el motor los puede hacer entrar en resonancia, debido a sus fuerzas de inercia que no se encuentran en equilibrio. La solución es elevar la frecuencia propia de los tubos, bien haciéndolos más cortos, bien aumentando su diámetro.

Al triangular el chasis tubular, se logra una rigidez alta. Pero se aumenta el número de soldaduras al aumentar el número de tubos, lo cual supone un aumento de peso.



Figura 4.18-Chasis multitubular triangulado

#### ❖ Motor estructural

Una de las formas más eficientes de construir una moto con un motor grande. La clave está en utilizar la rigidez del motor para conseguir conectar la pipa de dirección con el eje del basculante. Alojando este eje en la parte trasera de la fundición de la caja de cambios, solamente se necesita una pequeña estructura para unir la pipa de dirección a la zona superior del motor.



Figura 4.19-Chasis tubular con motor estructural



## 4.5 ANÁLISIS Y SELECCIÓN DEL MODELO

### 4.5.1 ANTECEDENTES Y CONDICIONANTES

La diversidad de soluciones constructivas de chasis que se han ido desarrollando a lo largo de los años hace que nos encontremos con los primeros modelos que consistían básicamente en un chasis de bicicleta modificado con un motor acoplado hasta chasis experimentales fabricados íntegramente en fibra de carbono y un precio muy elevado. A principios de los 80, Antonio Cobas introdujo una gran revolución en el mundo del motociclismo, el chasis de doble viga en aluminio. En 1982 creó su propia marca y en 1984 logró su primera victoria en una de las carreras del mundial de motociclismo con Sito Pons como piloto. A ésta le siguieron muchas otras como varios títulos mundiales con Alex Crivillé al frente.

A finales de los 80, el mundo de las motocicletas deportivas quedaba dividido por dos tipos de chasis, el de doble viga de aluminio (principalmente los fabricantes japoneses) y el tubular de acero (fabricantes italianos como Ducati). De esta forma nos encontramos con las dos soluciones más eficientes y viables económicamente para el proyecto de un chasis de motocicleta con las características requeridas, ya que son muchas las soluciones constructivas que pueden cubrir las necesidades demandadas, pero la experiencia ha demostrado que tan sólo unas pocas pueden resultar realmente eficientes y factibles a la hora de obtener buenos resultados.

Cabe comentar que el chasis que utiliza el motor como parte estructural, el cual presenta buenas propiedades rigidez/peso, no se tendrá en cuenta en esta selección ya que el motor que nos proporciona la organización no está preparado para ser parte estructural.

Y por otro lado, los chasis tipo espina central y monocasco tienen un elevado coste de fabricación, además de que su relación rigidez/peso no es de las mejores, por lo tanto, no cumplen nuestros requisitos.

### 4.5.2 CARACTERÍSTICAS DEL CHASIS

Visto esto, habrá que seleccionar el más adecuado en función de nuestras necesidades. Dos de las características más importantes a tener en cuenta son la **rigidez** y el **peso**, entre las cuales habrá que encontrar el compromiso más adecuado para soportar las cargas a las que se verá sometido sin entrar en la zona plástica del material.

La estructura debe ser lo más ligera posible y a la vez tener un tiempo de vida aceptable. La rigidez está relacionada con la deformación temporal que sufre la estructura cuando se carga y posteriormente se descarga. Se mide en términos de flexión

lineal o angular en función de la fuerza o el momento aplicado. La **resistencia** es la medida de la carga que podemos aplicar antes de que exista un fallo estructural. Este fallo puede ser de rotura de alguna pieza o una deformación permanente aún después de que desaparezca la carga.

A mayores espesores, mayores **cargas** podrá soportar, pero el aumento de peso se ha de tratar con mucho cuidado, ya que una moto de competición ha de ser lo más ligera posible, y más con un motor de 125 cc, el cual no es de gran potencia.

Una de las características de gran valor en carrera es el **espacio** que deja el chasis para hacer los cambios pertinentes, ya que facilita el trabajo y reduce el tiempo.

El **material** es otro de los factores a tener en cuenta, ya que el diseño varía en función del elegido, así como los **métodos de fabricación**. Los costes, tanto de los materiales como de los procesos, son puntos importantes a tener en mente.

Al tratarse de una motocicleta de competición, se debe tener en cuenta la **estética** y la resistencia a impactos, además de facilidad de **montaje** y variabilidad entre las piezas, por lo que deben ser lo más estándar posible.

Por lo tanto, después de esta mención a los factores condicionantes para la elección del chasis, se ve claramente que los más adecuados son el de doble viga y el tubular, ya sea el convencional o el triangulado, aunque el triangulado presenta mejores características.

### 4.5.3 ELECCIÓN DEL TIPO DE CHASIS

Una vez mencionadas las características que debe cumplir el chasis, elegimos el que abarca la mayoría de la mejor forma posible. Como se han comentado las características de cada chasis con anterioridad, se puede apreciar que existe una diferencia grande entre ellos. A continuación se comentan las más destacadas.

- **DOBLE VIGA** → Gran espacio interior, ligeros, rígidos, presentan buenas soldaduras, permiten una amplia gama de motores, espacio libre para otros sistemas, buena accesibilidad, eliminación tubos, consistencia.
- **TUBULAR TRIANGULADO** → Poca eficiencia estructural, rigidez depende del diámetro tubos, necesita triangulación, necesaria gran anchura para situar motores, estructura compleja, puede entrar en resonancia, peso elevado.

Sin ninguna duda el que mejor las cumple es el **chasis de doble viga** de aluminio, por lo tanto es el elegido.

Una de las razones de esta elección es la obtención de mejores resultados en la optimización, ya que al ser voluminoso se pueden redistribuir y optimizar las cargas. En segundo lugar, los buenos resultados obtenidos con esta solución son evidentes y han venido a demostrar el potencial de este diseño.

Otra de las grandes ventajas de este diseño es que al unir de la forma más directa posible la pipa de dirección con el eje del basculante, se crea una estructura que es lo más rígida posible a flexión, ya que los cambios de curvatura se reducen al mínimo. Esto hace que el material utilizado sea mínimo, por lo que resulta la configuración comparativamente más ligera.

Por otra parte, se deja espacio interior para tener mayor libertad en la ubicación del motor.

#### **4.5.4 ELECCIÓN DEL TIPO DE MATERIAL**

Este tipo de chasis tan sólo se realiza en aluminio, ya que de otra manera sería demasiado pesado. Por lo que la elección será entre los diferentes tipos de aluminio.

##### **❖ ALUMINIO**

El aluminio es un metal que reúne una serie de propiedades mecánicas excelentes dentro del grupo de los metales no ferrosos, de ahí su elevado uso en la industria. Es el más abundante de los metales, constituyendo cerca del 8% de la corteza terrestre. Sus propiedades han permitido que sea uno de los metales más utilizados en la actualidad. Es de color blanco y es el más ligero de los metales producidos a gran escala. La alúmina, que es extraída de la bauxita y mezclada con la criolita es la fuente del aluminio. El aluminio puro es demasiado blando, debidamente aleado se obtienen resistencias comparables al acero, por lo cual es útil para toda industria, desde la construcción, decoración, minería, iluminación hasta la industria aeronáutica.

El aluminio es el único metal que proporciona dureza con bajo peso, es sumamente fácil de pulir, tenaz, dúctil y maleable, posee una gran resistencia a la corrosión y alta conductividad térmica y eléctrica, teniendo la mejor relación beneficios-costos frente a cualquier otro metal común. Brinda a los ingenieros, arquitectos, diseñadores, etc., la posibilidad de desarrollar una gran variedad de diseños, ya sea con el uso de perfiles estándar o a través del desarrollo de perfiles personalizados.

Dentro del ciclo vital del aluminio, éste se encuentra actualmente en la etapa de madurez, es decir su producción está estabilizada desde hace un par de décadas, aunque en la industria de la automoción su uso es cada vez mayor. Esta aparente contradicción

se debe a que está siendo sustituido por nuevos materiales, como los polímeros o los materiales compuestos, en aplicaciones en las que hasta ahora se había utilizado el aluminio. Esto mismo ocurre en mayor medida con los metales ferrosos, donde su producción ha disminuido al verse sustituidos por los nuevos materiales o por el propio aluminio, es el caso de los automóviles o motocicletas, donde cada día aparecen más motos con bastidores de aluminio y coches con suspensiones, partes del chasis y carrocería fabricados con aluminio.

El aluminio, cuando se habla de aluminio se tienen en cuenta todas sus aleaciones, satisface como ningún otro metal las actuales demandas que se piden a un material estructural como son:

- La ligereza, ya que la densidad del aluminio (2,70 g/cm) es realmente baja comparada con la del hierro (7,90 g/cm).
- La buena resistencia mecánica de algunas de sus aleaciones, incluso a altas temperaturas, lo que hace que esté llegando a sustituir a aleaciones de titanio en el mundo aeronáutico, donde la ligereza unido a la resistencia mecánica son factores importantísimos.
- Muy buena resistencia a la corrosión gracias a la película de alúmina, que se forma en su superficie de forma espontánea y lo protege de la corrosión.
- Una propiedad cada vez más en alza como es la reciclabilidad, donde el aluminio destaca especialmente, ya que si bien el aluminio es el metal más abundante en la corteza terrestre, el proceso de obtención del aluminio requiere una alta cantidad de energía en comparación con otros metales como puede ser el acero, pero esta cantidad de energía se reduce enormemente en el proceso de producción secundaria (reciclaje) para el caso del aluminio, provocando que la industria lo tenga muy en cuenta a la hora de ahorrar dinero en forma de energía.
- Cabe resaltar, su alta conductividad térmica y eléctrica, esta última le hace adecuado para muchas aplicaciones dentro de la industria eléctrica, su baja temperatura de fusión unido a su elevada temperatura de ebullición hacen al aluminio muy idóneo para la fundición. El aluminio cristaliza en la red FCC (ó CCC) y no sufre cambios alotrópicos, lo que le confiere una alta plasticidad, aunque las propiedades mecánicas varían enormemente según cuales sean los elementos aleantes y los tratamientos termomecánicos a los que se haya sometido el aluminio.

## ❖ **PROPIEDADES FÍSICAS**

**Color y apariencia:** Es un metal blanco, con una alta reflectividad de la luz y el calor. Posee brillo natural de apariencia atractiva, siendo muy utilizado por arquitectos y diseñadores. Sin embargo, adicionalmente a sus condiciones naturales, se le puede dar diversos tipos de acabado de textura y color, que se caracterizan por su resistencia al paso del tiempo.

**Densidad:** La ligereza de la masa del aluminio es una de las propiedades más conocidas que este metal posee. Un centímetro cúbico de aluminio puede tener una masa de aproximadamente 2,699 g, comparado con los 7,85 g del acero y 8,46 g del cobre. Su peso es casi un tercio del acero. Esta ventaja ha permitido el desarrollo de muchas industrias como la aeronáutica y el transporte, además de facilitar la manipulación de los perfiles, reduciendo los costos de transporte y mano de obra.

**Conductividad eléctrica:** Aparte del cobre, el aluminio es el único metal común que posee una alta conductividad como para ser usado como conductor eléctrico. Su conductividad puede llegar a representar el 63,8% de la del cobre (en la aleación 6063 llega al 54%), sin embargo con la misma masa de base, el aluminio dobla la capacidad conductiva del cobre. Para una misma capacidad de conducción eléctrica, un conductor de aluminio puede tener la mitad de la masa, que la que podría tener la sección transversal de un conductor de cobre.

**Conductividad térmica:** El aluminio tiene una alta conductividad térmica, que sólo es superada por el cobre, siendo además cuatro veces más grande que la conductibilidad del acero. Su temperatura de fusión es de 660,2 °C. Por ello ofrece grandes ventajas al ser usado en utensilios de cocina, industria química, aire acondicionado, disipadores de calor entre otras industrias.

**Reflectividad:** El aluminio es muy reflectivo en la luz y con la radiación solar, más que ningún otro metal corriente. La reflectividad varía de acuerdo al grado de energía o las condiciones superficiales del metal, siendo la más alta del 75% en un rango de rayos ultravioleta, 85% en el rango de luz visible y sobre un máximo del 95% en el rango de radiación infrarroja.

**Resistencia a la corrosión:** Se debe a la formación espontánea de una película muy delgada de óxido de aluminio que es insoluble en agua, la cual la protege del medio ambiente y la corrosión, tanto en forma de metal puro como cuando forma aleaciones, la cual le da las mismas ventajas que el acero inoxidable. Una característica de esta capa, es que si es removido por algún medio mecánico, se formará una nueva capa protectora de óxido.

**Toxicidad:** El aluminio y sus derivados no son tóxicos, de esta manera está presente en utensilios de cocina, envases industriales, etc. los cuales no tienen efectos nocivos.

Una vez se haya elegido el modelo final y se hayan realizado todos los ensayos pertinentes, se elegirá el aluminio más adecuado para el chasis elegido, ya que habrá que prestar mucha atención a los límites elásticos de cada aleación.

## 5 DISEÑO PRELIMINAR

### 5.1 INTRODUCCIÓN

En este apartado comienza la fase de diseño más puro del chasis de doble viga realizado en aluminio. Tras consultar la mayor cantidad de libros de motocicletas disponibles en el mercado, de los cuales se obtuvo información que permitió ir conociendo los perfiles, las formas, las diferentes opciones... Se pasó a la utilización de dos programas fundamentales, hoy en día, en el mundo de la ingeniería, Catia y Marc Mentat.

*Catia* es un programa creado y comercializado por Dassault Systèmes, que es la ingeniería filial del grupo Dassault, un fabricante de aviones militares y civiles francés. Nació como un programa de diseño CAD, y actualmente se engloba dentro de la categoría de gestores del ciclo de vida del producto, o en inglés, Product Lifecycle Management (PLM). Esto quiere decir que engloba todas las herramientas necesarias desde la concepción del diseño, hasta el análisis, la simulación y presentación, la fabricación o producción y, mantenimiento de éste.



*Figura 5.1-Programa de diseño y simulación Catia*

Es un software escalable, es decir, que consta de unos módulos básicos y se va ampliando en función de necesidades y hacia unos módulos que pueden ser altamente específicos, para algún tipo de industrias, como el módulo de cálculos ergonómicos *Human Builder*, o módulos especiales para industrias dedicadas al diseño, de piezas metálicas *Sheetmetal Design*, de moldes de inyección *Mold Tooling Design*, pasando por módulos de análisis de elementos finitos *FEM Solid* o *FEM Surface*, o módulos para el mecanizado *NC Machine Tool Simulation*.

*Catia* comenzó su gran expansión en el mercado, sobre todo con la versión *V4*, aunque como sólo funcionaba en el sistema operativo UNIX, quedaba muy restringido al ámbito industrial. Con su paso a la versión *V5*, y trabajando bajo casi todos los sistemas operativos conocidos, incluido *Windows*, ha significado su gran eclosión como

software. Y de ese cambio de versión surge su nombre más conocido *Catia V5*, que además incluye dos contadores más. El primero es el número de *release*, que es donde se incluyen los cambios hechos de una versión a otra, se añaden funcionalidades, o se potencian algunos módulos básicos con herramientas de otros módulos más específicos, y este es el número que se menciona tras *Catia V5*, el *R17* (*Catia Versión 5 Release 17*). Es este cambio de release, el que hace de *Catia* un software en continua evolución y con constantes mejoras que hacen que aumente su potencial día a día. Por último, existe un *service pack*, que se lanza para arreglar posibles problemas dentro de cada nueva *release*. Así queda la nomenclatura *Catia V5 R17 SP4*, *Catia Versión 5 Release 17 Service Pack 4*.

*Catia* forma parte del grupo de software de gama más alta, por prestaciones, usabilidad, potencia y otras características, junto con *Pro-Engineer* o *Unigraphics*, aunque en este caso se ha utilizado *Catia*.

*Marc Mentat* es un programa que crea prototipos virtuales a los que se pueden realizar test virtuales y ayuda a optimizar el comportamiento del producto en cuestión. *Marc* y *Mentat* se combinan para ofrecer una solución completa (pre-procesamiento, solución y post-procesamiento) para el análisis de elementos finitos. Ofrece la posibilidad de simular contacto, tensión y análisis físicos para resolver problemas no lineales estáticos y cuasi-estáticos, que de otra manera serían muy complejos de resolver. *Mentat* facilita la introducción de las variables o datos necesarios para el análisis en el pre-proceso y ofrece los resultados del post-proceso, mientras que *Marc* es el “solver” encargado de realizar las operaciones internas de cálculo.



Figura 5.2-Programa de elementos finitos *Marc Mentat*

El análisis de elementos finitos es una parte crítica del desarrollo de productos, ya que permite realizar una gran cantidad de pruebas con el prototipo sin necesidad de construirlo. *Marc* es capaz de proporcionar de una manera consistente y fiable la solución de problemas que cambian las condiciones de contacto entre los componentes y/o grandes deformaciones. Diseñado desde el primer día para resolver problemas no

lineales, utiliza matemáticas avanzadas y la tecnología FE para obtener soluciones convergentes. También permite simular situaciones de acoplamiento entre las estructuras.

Con estas dos herramientas básicas para este proyecto, se realizarán diferentes bocetos para elegir un primer diseño del chasis para la construcción del prototipo mediante un modelado en 3D del conjunto y a continuación se estudiará por el método de elementos finitos para su optimización. Es decir, a partir de los resultados obtenidos, se analizarán los puntos débiles y se rediseñarán para obtener una mayor rigidez y una reducción del peso. Lo que se busca es encontrar el mejor equilibrio entre estas variables para conseguir que la motocicleta tenga el mejor comportamiento posible en pista y unos buenos tiempos por vuelta.

Hoy en día, debido a los grandes avances en el análisis computacional, estos programas son una herramienta imprescindible a la hora de diseñar piezas sometidas a sollicitaciones mecánicas. Sin embargo, se ha de tener en cuenta que los resultados obtenidos no son reales ni definitivos, sino que proporcionan una aproximación del comportamiento real del bastidor, ya que existen una gran cantidad de factores que no pueden ser simulados. Uno de ellos puede ser el piloto que vaya a conducir la moto, ya que unos pueden preferir un chasis más rígido mientras que otros optarían por un chasis con cierta flexión lateral para ayudar a amortiguar movimientos debidos a irregularidades en la pista.

Una de las grandes ventajas de estos programas de simulación es que nos permiten realizar unas primeras optimizaciones sobre el diseño inicial proporcionando mejores resultados en la primera prueba del prototipo. De esta forma, no es necesario construir tantos prototipos, lo que supone una reducción de costes significativa.

Un chasis de motocicleta debe encargarse tanto de las funciones estáticas y dinámicas. Desde el punto de vista estático el chasis debe de ser capaz de soportar el peso del piloto, motor, transmisión y accesorios, como depósito de aceite y gasolina. En cuanto a la dinámica, el chasis junto a otros elementos como horquilla y ruedas son los encargados de proporcionar una buena adherencia, manejabilidad y confort.

Para que la motocicleta siga la dirección deseada, el chasis debe proporcionar una buena resistencia a flexión y a torsión, manteniendo las ruedas en el mismo plano y los parámetros geométricos impuestos frente a las fuerzas a las que se verá sometido debido a baches, frenadas, curvas y la propia transmisión. Por estos motivos una buena manejabilidad y el contacto de los neumáticos con la carretera son básicos, y en ellos toma mucha importancia la rigidez del chasis, siendo muchas veces las necesidades contradictorias entre sí. De manera que habrá que buscar el equilibrio más adecuado entre ellas.



## 5.2 DISEÑO DE LA GEOMETRÍA

Teniendo en cuenta las funciones del chasis y los compromisos que debe cumplir, comenzamos el desarrollo de las diferentes partes. Para ello se han ido realizando bocetos con diferencias significativas para encontrar el más adecuado respecto a las restricciones impuestas.

La primera parte del diseño es la elección de la configuración geométrica adecuada de la estructura que une la pipa de dirección con el eje del basculante. Las cotas de estos puntos vienen determinadas por el estudio dinámico del comportamiento de la motocicleta. La función principal del chasis es unir estos puntos de forma que permanezcan invariables. Por lo tanto trataremos de realizar un chasis lo más rígido posible, sin descuidar el peso.

### 5.2.1 CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA

El diseño del bastidor está sujeto a los parámetros geométricos obtenidos en los proyectos “Optimización de parámetros principales y cálculo de cargas de una motocicleta de competición” y “Diseño y calculo estructural del basculante y diseño del sistema de suspensión trasera de una motocicleta de competición”. El objetivo es buscar la mayor eficiencia del chasis para estos parámetros geométricos.

La única elección que se puede tomar es la configuración geométrica de las vigas que unen la pipa de dirección con el anclaje del basculante. Se optimizará la geometría que proporcione mayor rigidez en los ensayos, sin profundizar demasiado en los anclajes auxiliares. Los parámetros geométricos para los que debe diseñarse el chasis son:

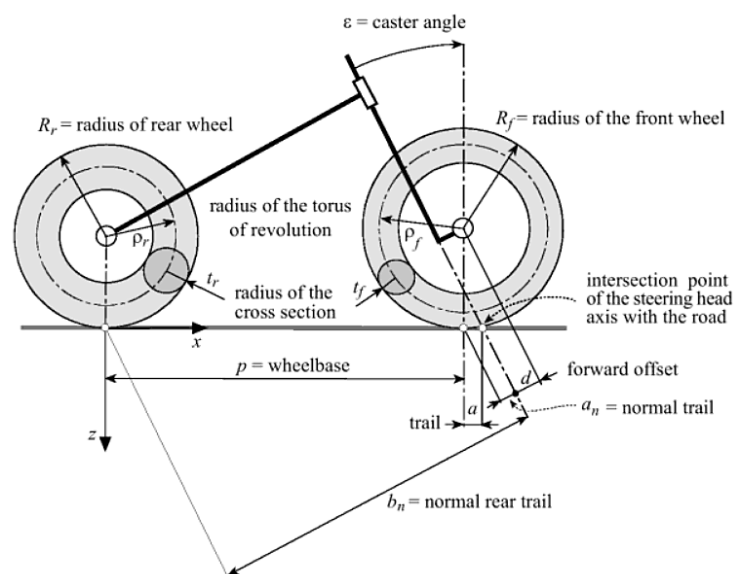


Figura 5.3-Parámetros geométricos de la motocicleta

- Distancia entre ejes: distancia entre los puntos de contacto de los neumáticos con la carretera. En el dibujo es “p” wheelbase.

$$P=1250 \text{ mm}$$

- Ángulo de lanzamiento: ángulo que forma la pipa de dirección con el eje vertical. En el dibujo es “ε” caster angle.

$$\varepsilon= 0.40838$$

- Avance normal: mínima distancia entre el punto de contacto del neumático delantero con la carretera y el eje de dirección. En el dibujo es “an” normal trail.

$$an= 0.08\text{mm}$$

- Distancia longitudinal del Centro de gravedad: distancia longitudinal del centro de gravedad respecto a la rueda trasera.

$$b=0.7\text{m}$$

- Distancia vertical del Centro de gravedad: distancia vertical del centro de gravedad.

$$h=0.65\text{m}$$

- Radio del neumático delantero:

$$Rf=282.4\text{mm}$$

- Radio del neumático trasero:

$$Rr=296.4\text{mm}$$

- Longitud del basculante:

$$\text{Longitud del basculante} = 530 \text{ mm}$$

$$\text{Ángulo del basculante} = 12^\circ$$

$$\text{Altura del eje del basculante} = 406,6 \text{ mm}$$

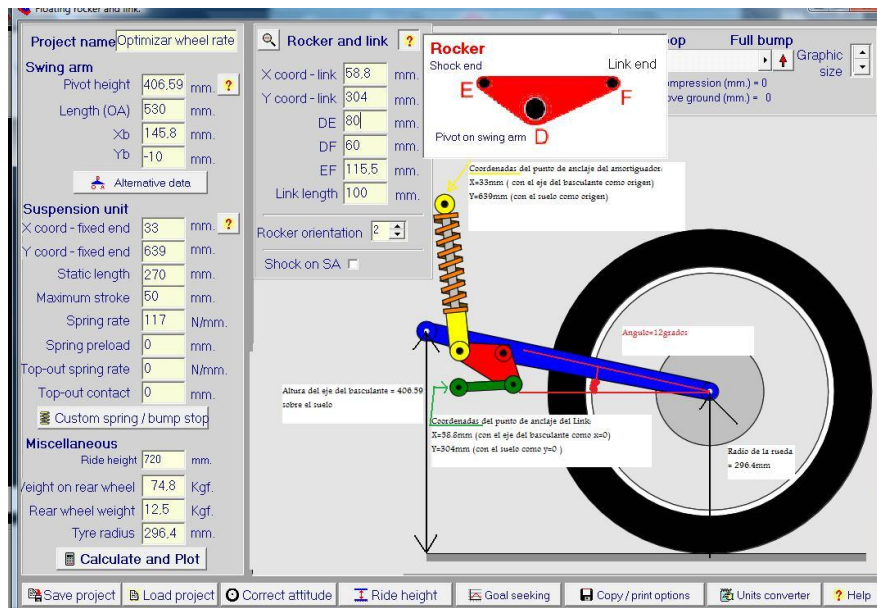


Figura 5.4-Parámetros geométricos del sistema de amortiguación

- Posición relativa del eje del basculante respecto al piñón: el eje del basculante se encuentra 10 mm por debajo del eje del piñón de salida.
- Anclaje amortiguador trasero

**Altura = 639 mm**

**Distancia longitudinal respecto al eje del basculante = 33 mm**

- Anclaje bieletas del amortiguador trasero

**Altura = 304 mm**

**Distancia longitudinal respecto al eje del basculante = 58,8 mm**

Con estos parámetros obtenemos la configuración geométrica para la que debe diseñarse el chasis. Figura ya realizada en Catia.

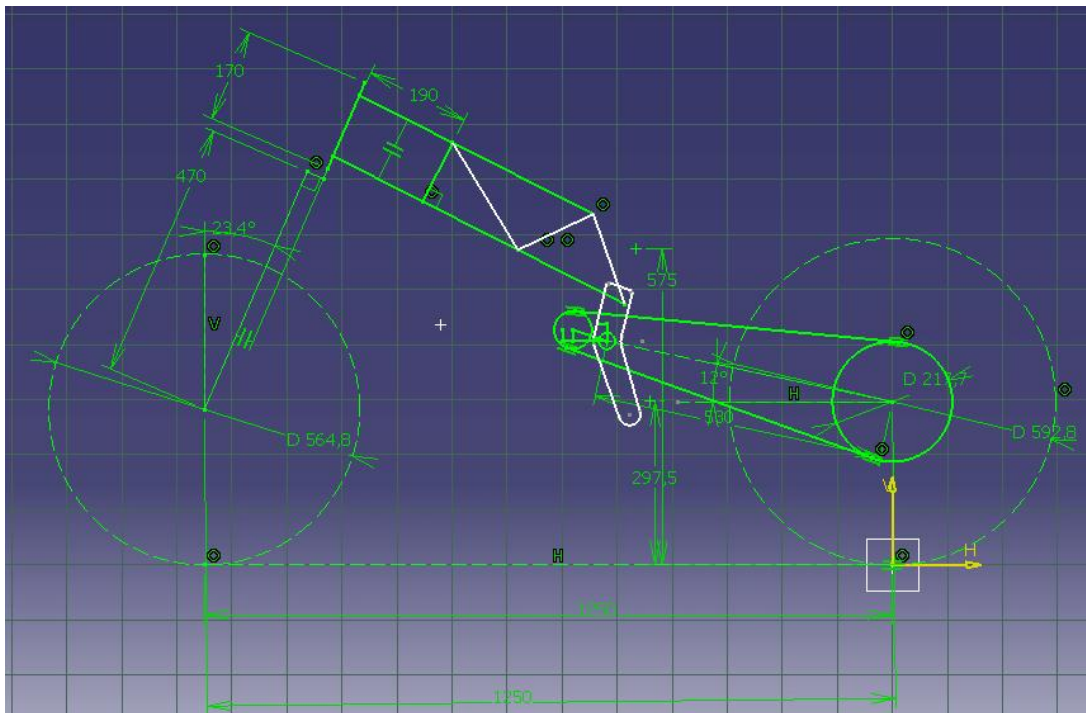


Figura 5.5-Parámetros geométricos generales

## 5.2.2 MODELOS Y ANÁLISIS

Una vez conocidos los parámetros geométricos que han de tenerse en cuenta, comienza el diseño y análisis de los diferentes modelos.

Para la realización del cálculo se va a efectuar un análisis computacional empleando el método de Elementos Finitos. De una manera sencilla, consiste en convertir un sólido en un número finito de parámetros. Dichos elementos contienen una serie de puntos interconectados entre sí llamados nodos y al conjunto se le denomina malla.

Debido a la complejidad de la geometría, ésta será diseñada en Catia y luego será importada a Marc, donde resulta más sencillo introducirla en forma de superficie para luego convertir las líneas en elementos, subdividirlos y así obtener el mallado buscado.

Otra información que es necesaria introducir es aquella referente al material. En un principio se considera el aluminio más común, para pasar a las especificaciones más adelante. Este aluminio tiene una densidad de 2.7 g/cm<sup>3</sup>, un módulo de Young de 72 GPa y coeficiente de Poisson de 0.33.

Este método requiere un gran trabajo computacional aplicado a problemas reales ya que calcula el valor de distintos parámetros en cada nodo de la estructura. Por tanto, este trabajo aumenta a medida que aumenta el número de nodos de la estructura analizada y a medida que aumenta el número de variables solicitadas. Aunque en un principio puede

resultar laboriosa la introducción del modelo analizado, posteriormente permite obtener gran cantidad de parámetros de una forma sencilla.

### **5.2.2.1 ANÁLISIS DE RIGIDEZ**

Para poder realizar una primera comparación entre los diferentes modelos, debemos fijar un criterio de selección que nos permita seleccionar las mejores opciones.

Se busca una cierta deformación controlada de los elementos estructurales cuando la motocicleta se encuentra inclinada. De esta forma la moto es capaz de absorber parte de la energía generada cuando se pasa un bache y estamos inclinados, ya que en esta situación los amortiguadores de la motocicleta no son capaces de trabajar correctamente.

Visto esto vamos a realizar tres ensayos que nos permitan tratar de la forma más independiente posible las tres deformaciones principales que sufre un chasis durante su funcionamiento. Por un lado tendremos la torsión de la pipa de dirección debido a los momentos laterales, la flexión de la pipa debido a los momentos generados tras las frenadas y por último la flexión lateral del chasis debida a las fuerzas laterales.

Se busca alcanzar valores máximos para los ensayos de flexión, mientras que el valor de la rigidez lateral no tendrá porque ser máximo pero si un valor elevado que no haga que las deformaciones sean excesivas. El valor de la torsión es el más delicado y tampoco será el máximo.

La idea de estos ensayos es realizarlos de la manera más sencilla posible para que posteriormente puedan ser reproducidos de manera experimental sobre el chasis real. Así podremos comparar los valores obtenidos en la realidad con los de la simulación y obtener un historial de datos que nos permita ir optimizando el diseño. Cabe destacar que los datos obtenidos en este caso por la simulación no son cuantitativos sino cualitativos. Esto nos obliga a realizar los ensayos sobre el modelo fabricado para poder tener una relación cuantitativa.

Para estructuras complicadas como es el chasis, no se producen deformaciones puras por lo tanto no se puede caracterizar la rigidez con un único valor. Esto tendremos que tenerlo en cuenta a la hora de realizar los ensayos, ya que si tomamos un único valor estamos cometiendo cierto error.

#### **❖ Test de rigidez longitudinal o de frenada**

Este test trata de reproducir las fuerzas transmitidas a través de la horquilla a la pipa de dirección durante una frenada. El test trata de simplificar al máximo las fuerzas de forma que las únicas deformaciones que se produzcan sean en el plano longitudinal de

la motocicleta. Otra de las razones por las que se realiza el ensayo de manera tan sencilla es para que luego se pueda reproducir de forma experimental sobre el chasis fabricado.

Para la realización del test introduciremos el modelo en Marc Mentat. Los espesores de las chapas, así como de los tubos, permanecerán constantes en todos los ensayos y las únicas modificaciones serán de tipo geométrico. Ya que el propósito inicial de este test es realizar una comparación entre las diferentes geometrías.

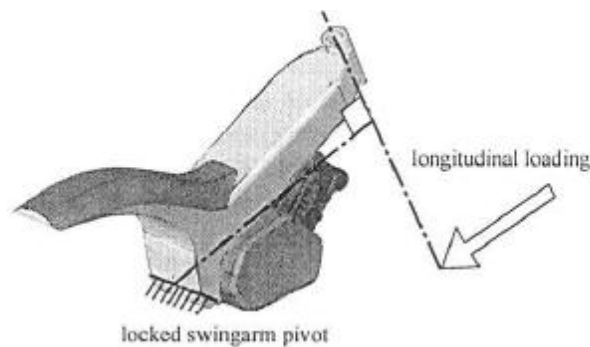


Figura 5.6-Test de rigidez longitudinal

Las condiciones de carga que se aplicaran serán las siguientes:

- Desplazamientos nulos en x, y, z para el anclaje del basculante
- Cargas puntuales en la pipa en x con sentidos opuestos

Las cargas aplicadas son las mismas en todos los casos, pero debido a que se busca la comparación entre todos ellos, no son fuerzas reales, sino teóricas. En este primer caso se introduce un momento de 700000 Nmm para crear las fuerzas de sentido opuesto en la pipa. Aplicaremos las cargas y mediremos los desplazamientos máximos en los tres ejes, así como la tensión de Von Mises máxima en cada caso.

El valor de la carga aplicada es tal que nos permite ver las deformaciones que sufre el chasis trabajando en su zona elástica y por tanto la relación carga-deformación es lineal. Elegimos una que nos permita observar de forma cómoda el desplazamiento de la pipa.

#### ❖ **Test de rigidez torsional o de torsión**

Este test trata de reproducir las fuerzas laterales que se transmiten a través de la horquilla a la pipa de dirección durante una curva. El test simplifica al máximo las fuerzas de forma que las únicas deformaciones que se produzcan sean en el plano transversal de la motocicleta. Otra de las razones por las que se realiza el ensayo de

manera tan sencilla es para que luego se pueda reproducir de forma experimental sobre el chasis fabricado.

Se realiza todo igual que en el test anterior, lo único que en este caso las fuerzas se aplican en otra dirección, en la perpendicular. Los espesores se mantienen constantes con variaciones geométricas, buscando, al igual que anteriormente, realizar una comparación entre las diferentes geometrías.

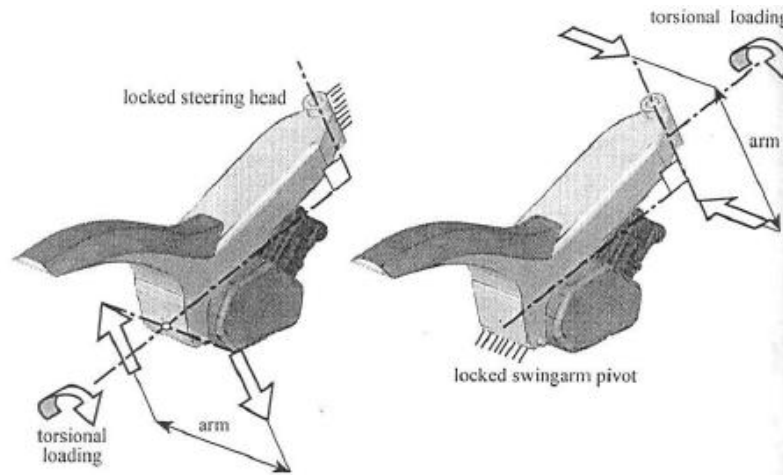


Figura 5.7-Test de rigidez torsional

Las condiciones de carga que se aplicaran serán las siguientes:

- Desplazamientos nulos en x, y, z para el anclaje del basculante
- Cargas puntuales en la pipa con dirección y, y sentidos opuestos

Al igual que en el ensayo anterior aplicaremos las cargas en los extremos de la pipa y mediremos los desplazamientos y tensión de Von Mises. Se introduce un momento de 700000 Nmm para crear esas fuerzas.

#### ❖ Test de rigidez lateral o de flexión

Con este test se pretende valorar la rigidez lateral del chasis intentando independizarlo de la torsión que se produce en la pipa tras aplicar una carga lateral. Para ello se aplican dos cargas laterales en la misma dirección en los extremos de la pipa y se mide la deformación lateral.

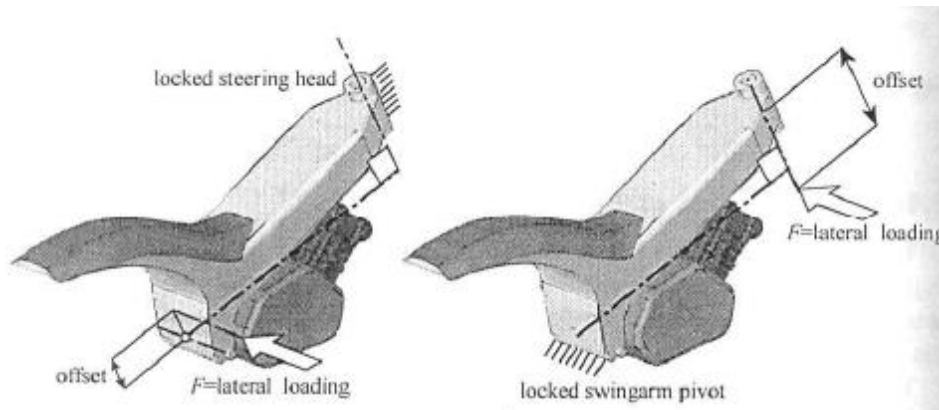


Figura 5.8-Test de rigidez lateral

Las condiciones de carga que se aplicaran serán las siguientes:

- Desplazamientos nulos en x, y, z para el anclaje del basculante.
- Cargas puntuales en la pipa en y en el mismo sentido.

A través de este test tomamos un valor de la rigidez lateral del chasis mediante el desplazamiento en cada eje y la máxima tensión obtenida. En esta prueba se ha introducido una fuerza de 10000 N dividida entre los nodos de la parte lateral de la pipa.

### 5.2.2.2 RESULTADOS DE LOS MODELOS

Cabe destacar que los modelos a los cuales se les han ido haciendo las pruebas son los más adecuados para nuestro caso, ya que existen muchas soluciones, pero no viables por las restricciones que estaban impuestas.

#### ❖ **MODELO 1**

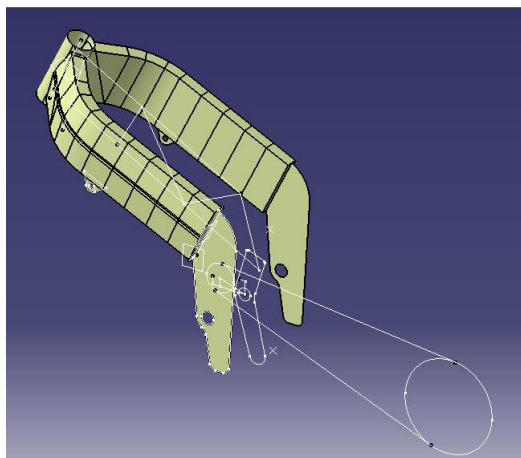


Figura 5.9



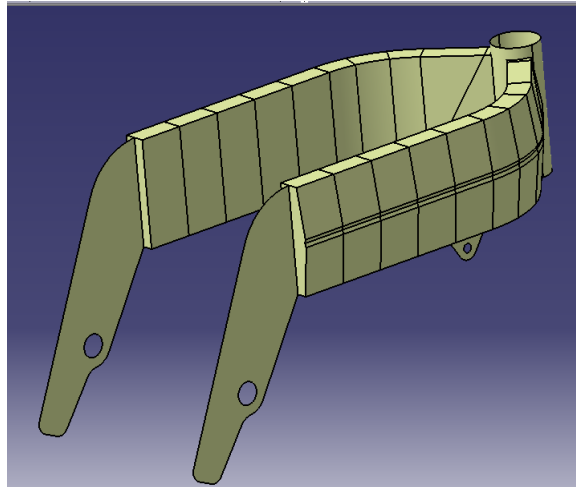
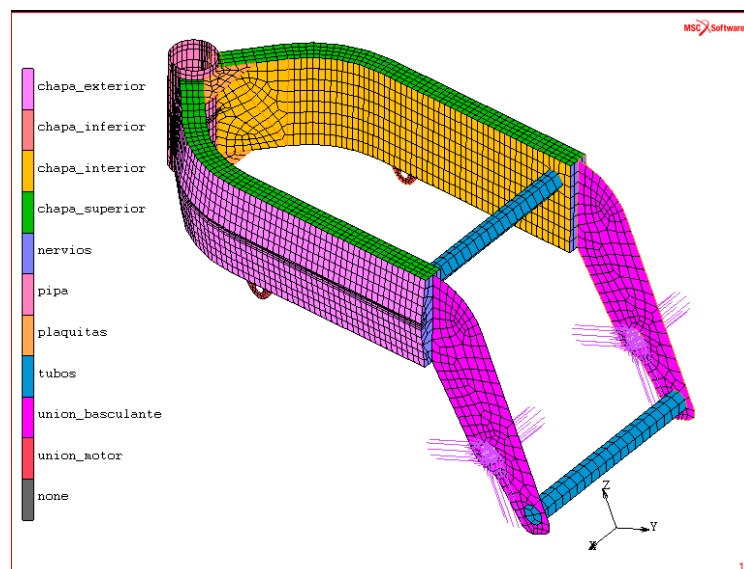


Figura 5.10

En este primer chasis se busca reducir el pandeo local con la muesca que se encuentra en la mitad de cada una de las vigas que unen la pipa con la pieza que alberga el eje del basculante. En cada modelo, hecho a base de superficies para poder mallarlo correctamente en Marc, no están situados los tubos que unen las dos vigas para darle más consistencia y rigidez, ya que se introducen de una forma más directa en el programa de elementos finitos. Además estos tubos sirven para sujetar el amortiguador trasero, que es algo que se tratará más adelante.

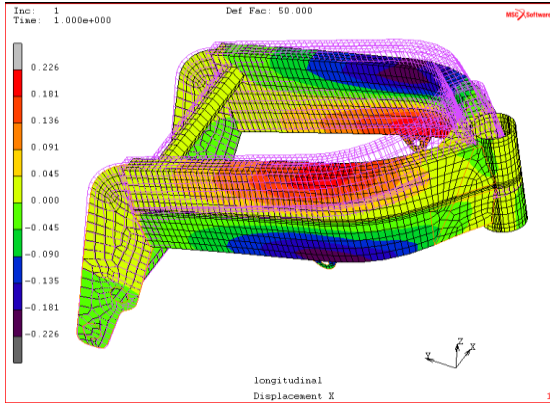
Comenzamos con los distintos chasis obtenidos a partir de este primero, ya mallados y con sus resultados.

- CASO 1a → Modelo sin nervios y sin tubo de refuerzo

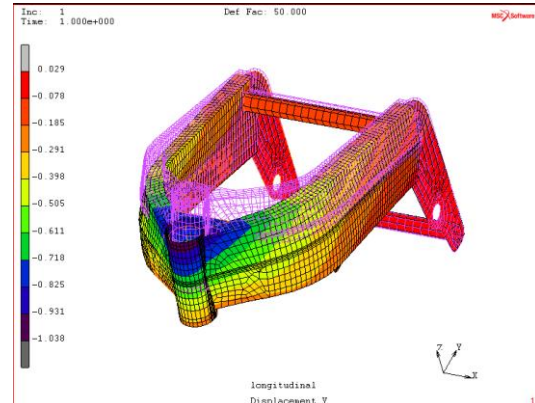


**FRENADA**

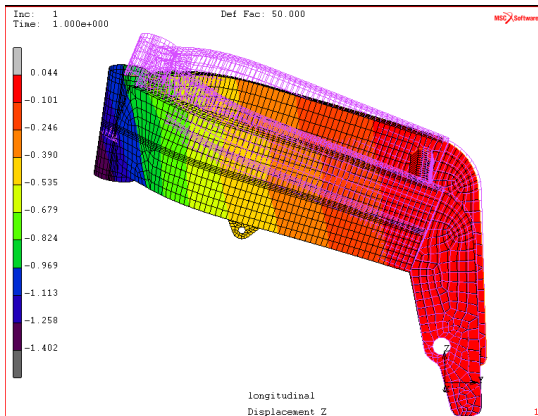
Desplazamiento en x



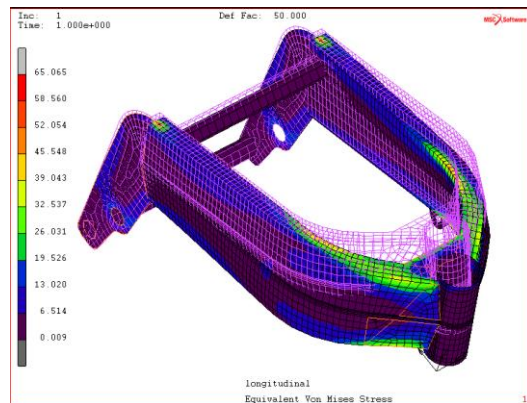
Desplazamiento en y



Desplazamiento en z

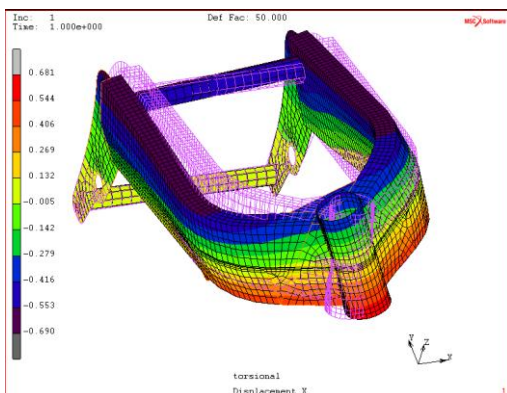


Tensión Von Mises

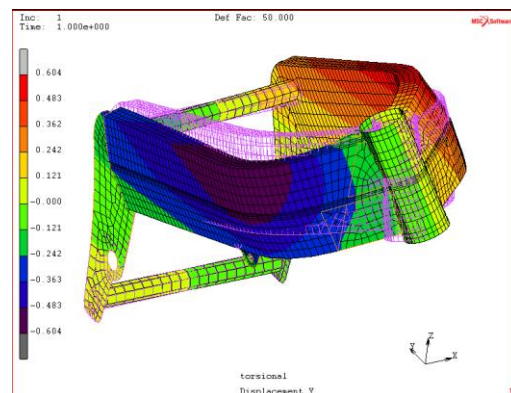


**TORSIÓN**

Desplazamiento en x

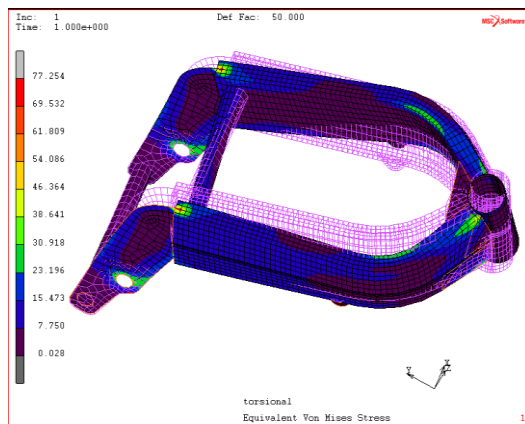
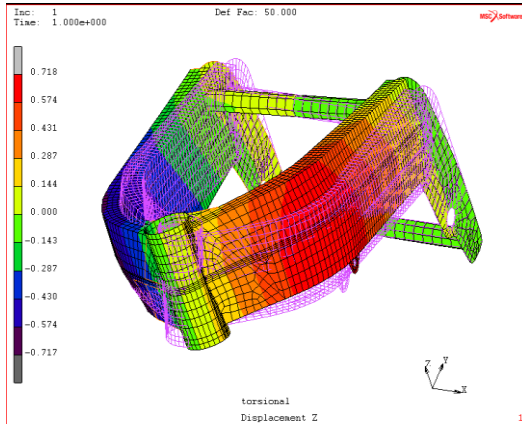


Desplazamiento en y



Desplazamiento en z

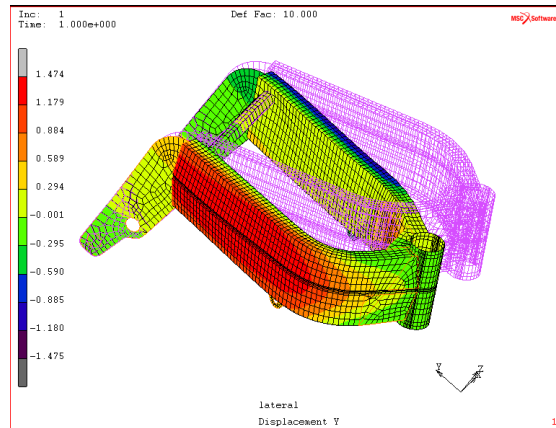
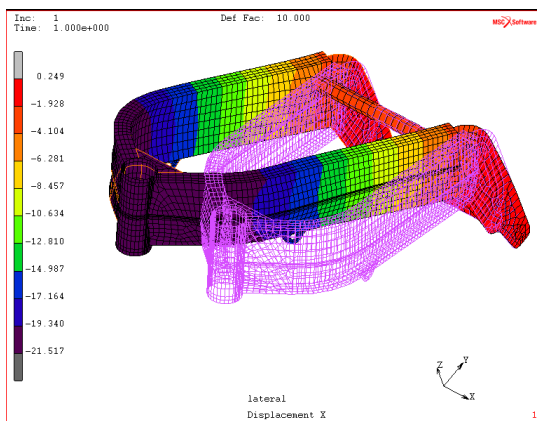
Tensión Von Mises



**FLEXIÓN**

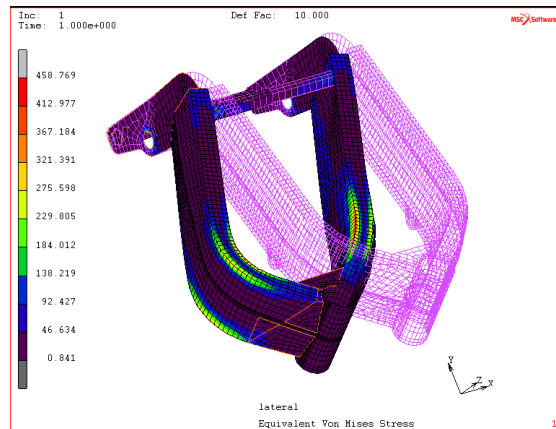
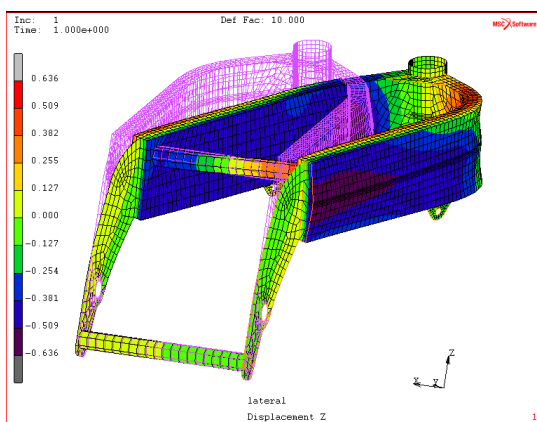
Desplazamiento en x

Desplazamiento en y



Desplazamiento en z

Tensión Von Mises



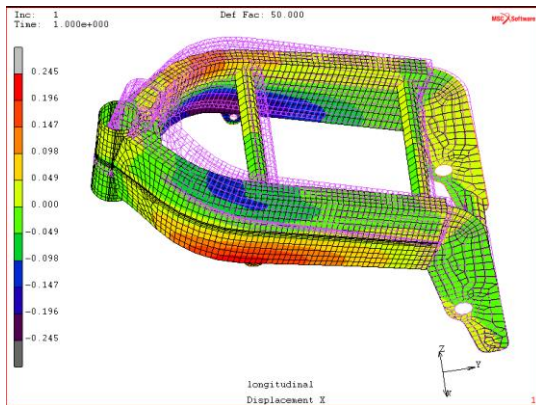
De este primer modelo se han obtenido los siguientes resultados:

	<i>FRENADA</i>	<i>TORSIÓN</i>	<i>FLEXIÓN</i>
<i>DESPLAZAMIENTO X</i>	0.226	0.690	21.517
<i>DESPLAZAMIENTO Y</i>	1.038	0.604	1.475
<i>DESPLAZAMIENTO Z</i>	1.402	0.718	0.636
<i>VON MISES</i>	65.065	77.254	458.769

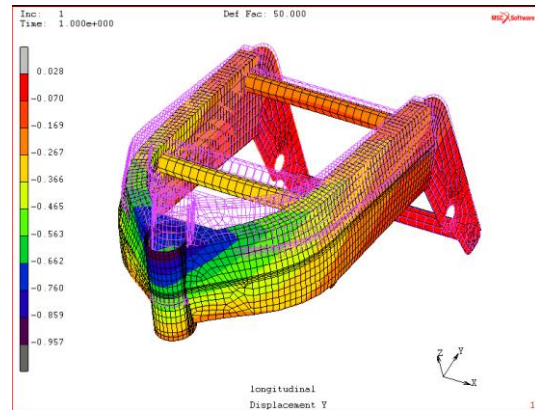
- CASO 1b → Modelo sin nervios y con tubo de refuerzo

**FRENADA**

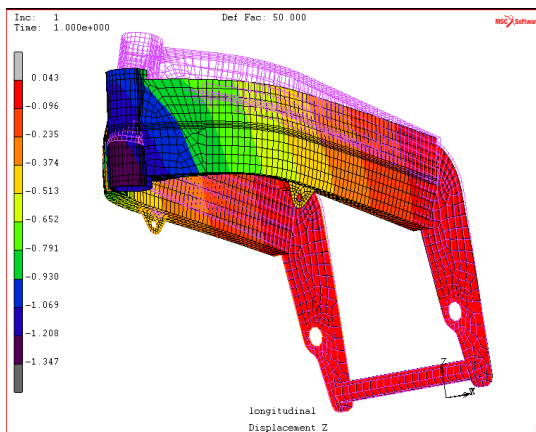
Desplazamiento en x



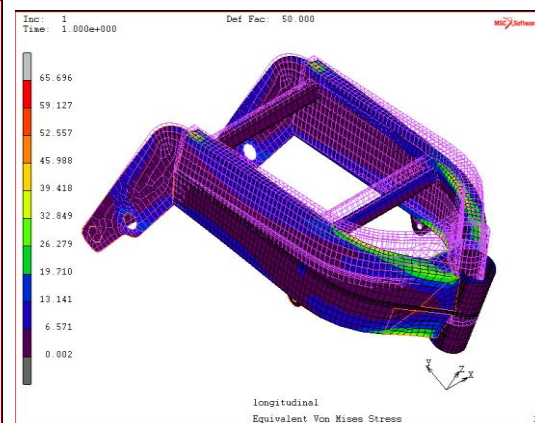
Desplazamiento en y



Desplazamiento en z



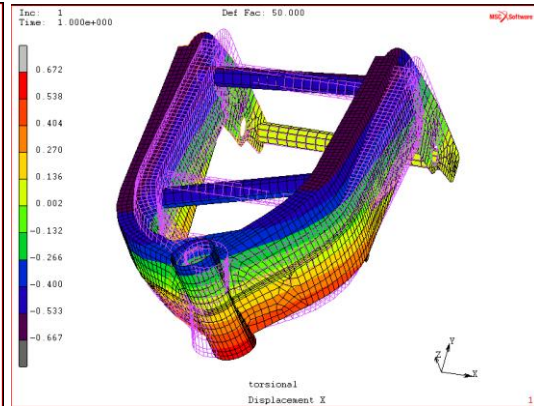
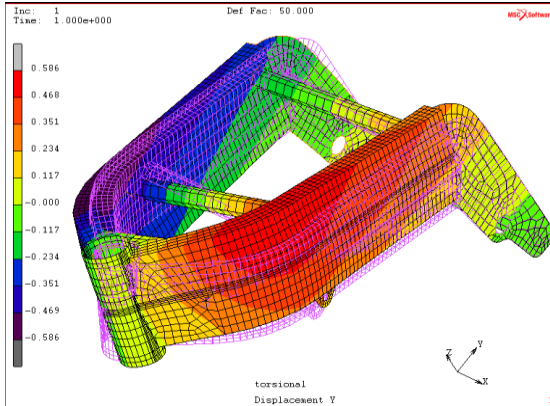
Tensión Von Mises



**TORSIÓN**

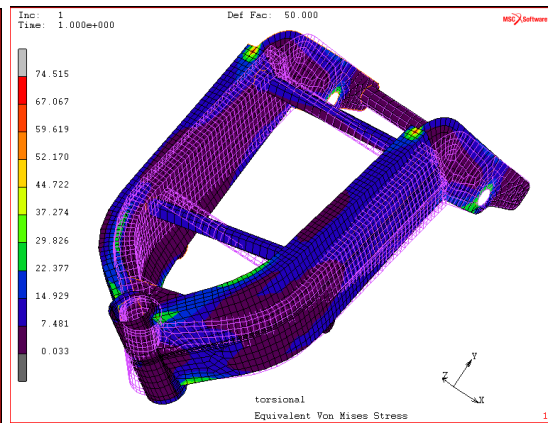
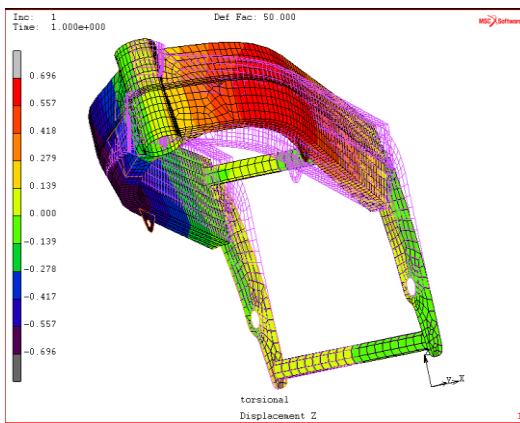
Desplazamiento en x

Desplazamiento en y



Desplazamiento en z

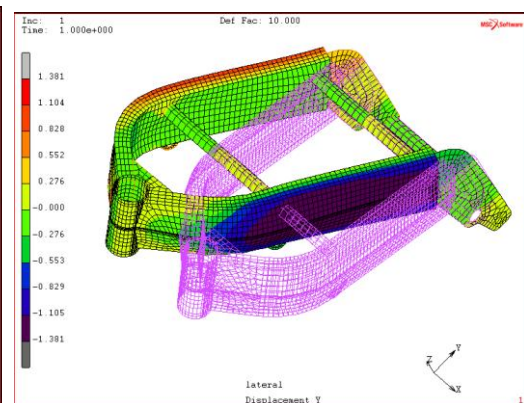
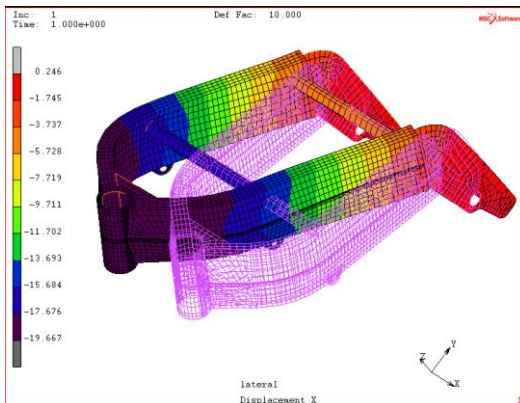
Tensión Von Mises



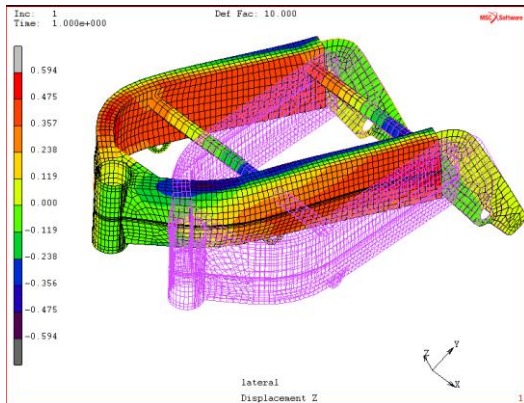
**FLEXIÓN**

Desplazamiento en x

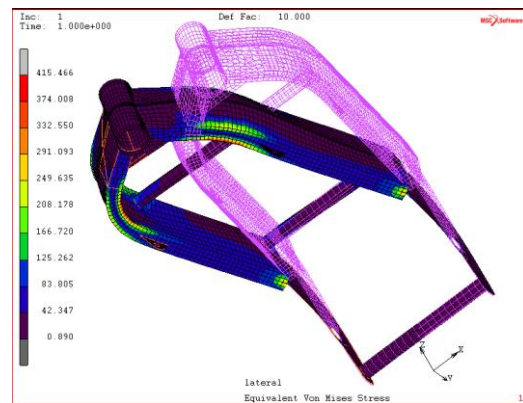
Desplazamiento en y



Desplazamiento en z



Tensión Von Mises

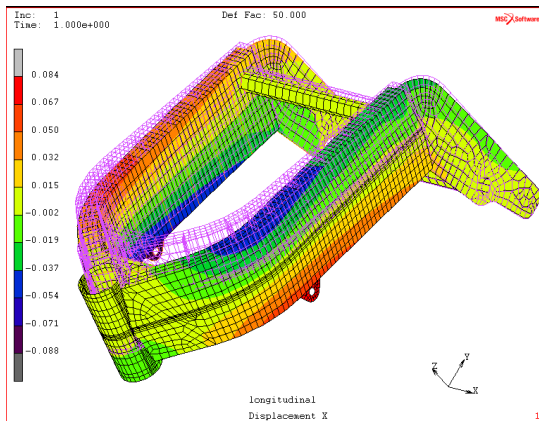


	<i>FRENADA</i>	<i>TORSIÓN</i>	<i>FLEXIÓN</i>
<i>DESPLAZAMIENTO X</i>	0.245	0.672	19.667
<i>DESPLAZAMIENTO Y</i>	0.957	0.586	1.381
<i>DESPLAZAMIENTO Z</i>	1.347	0.696	0.594
<i>VON MISES</i>	65.695	74.515	415.466

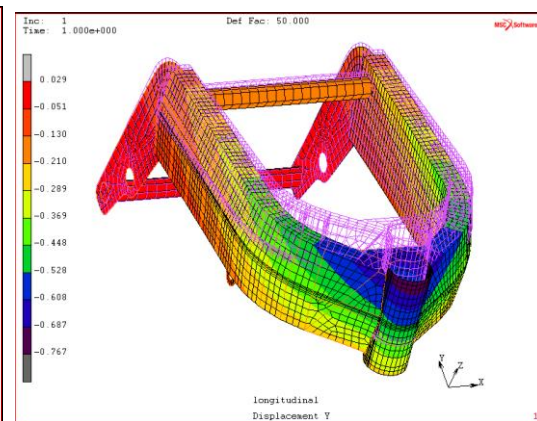
- CASO 1c → Modelo con nervios y sin tubo de refuerzo

**FRENADA**

Desplazamiento en x

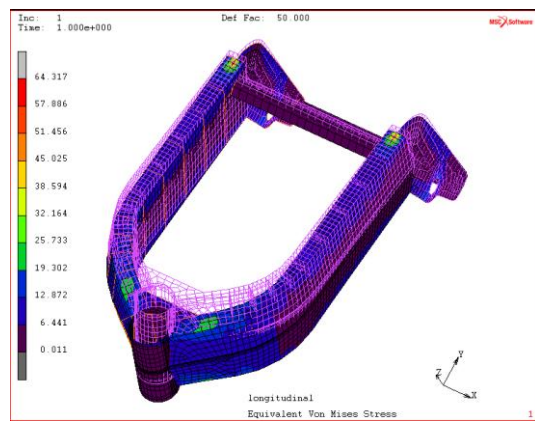
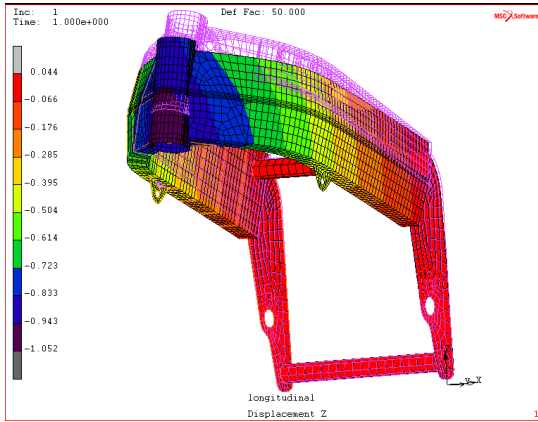


Desplazamiento en y



Desplazamiento en z

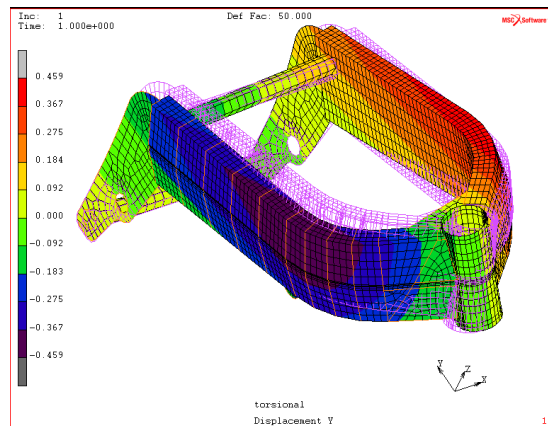
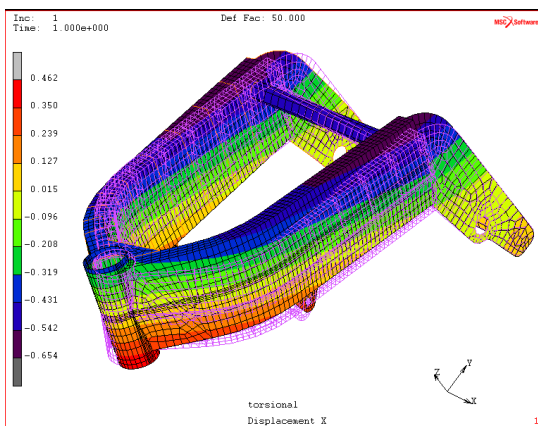
Tensión Von Mises



**TORSIÓN**

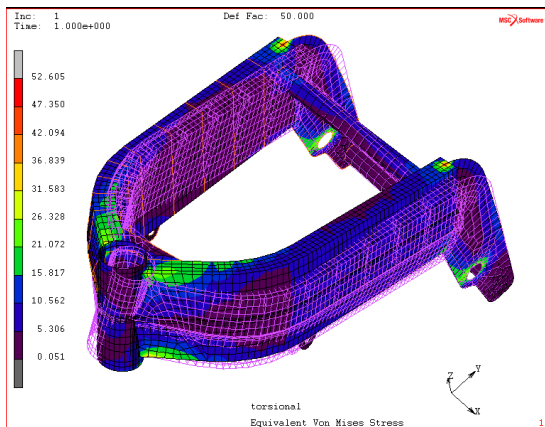
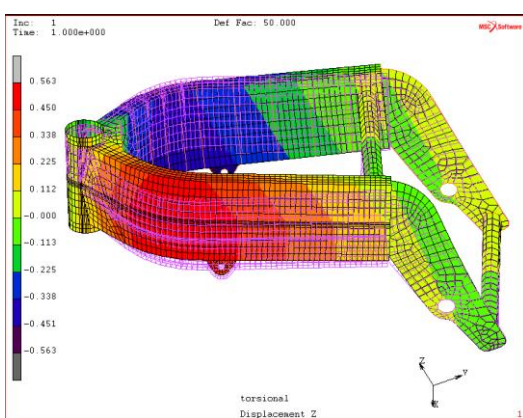
Desplazamiento en x

Desplazamiento en y



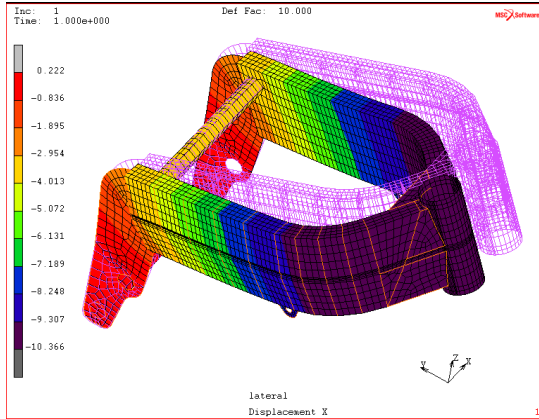
Desplazamiento en z

Tensión Von Mises

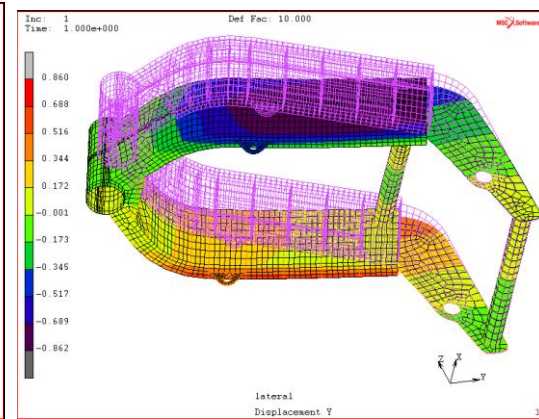


**FLEXIÓN**

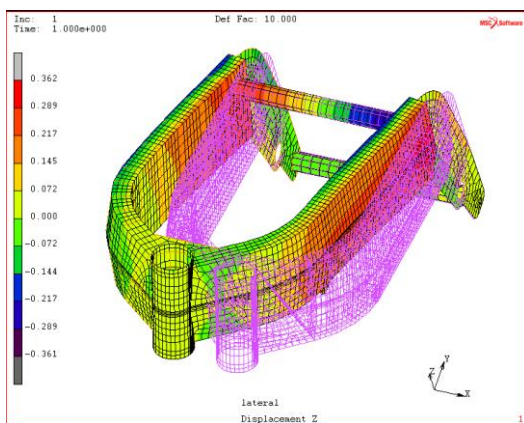
Desplazamiento en x



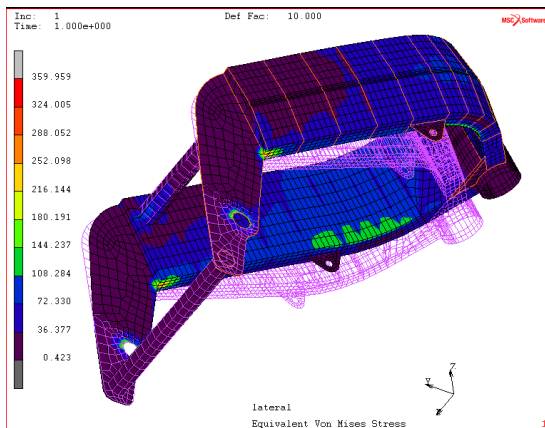
Desplazamiento en y



Desplazamiento en z



Tensión Von Mises



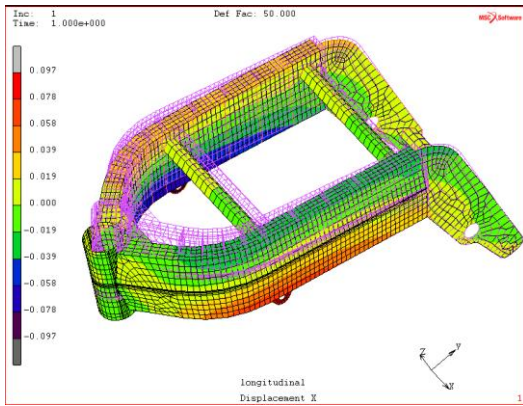
	<b>FRENADA</b>	<b>TORSIÓN</b>	<b>FLEXIÓN</b>
<b>DESPLAZAMIENTO X</b>	0.088	0.654	10.366
<b>DESPLAZAMIENTO Y</b>	0.767	0.459	0.862
<b>DESPLAZAMIENTO Z</b>	1.052	0.563	0.362
<b>VON MISES</b>	64.317	52.605	359.959



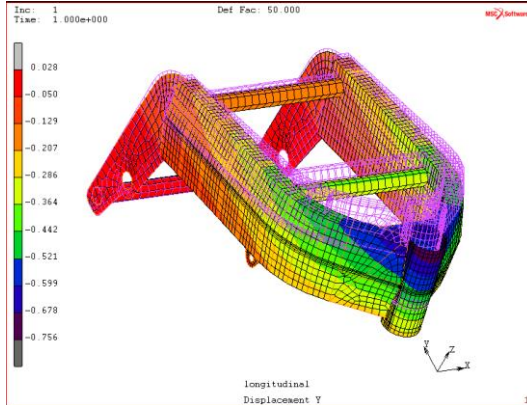
- CASO 1d → Modelo con nervios y con tubo de refuerzo

**FRENADA**

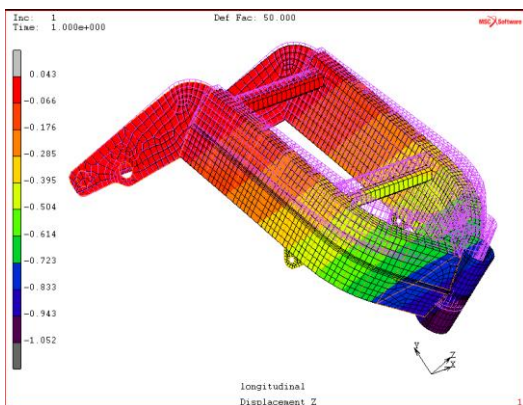
Desplazamiento en x



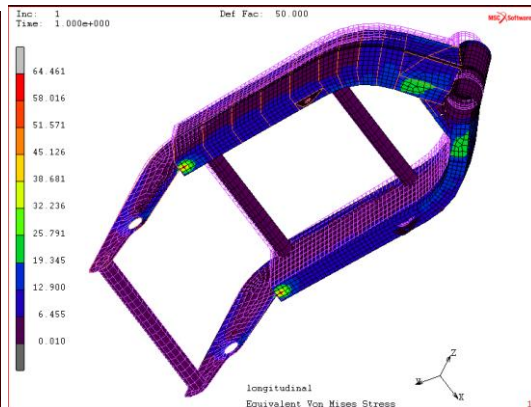
Desplazamiento en y



Desplazamiento en z

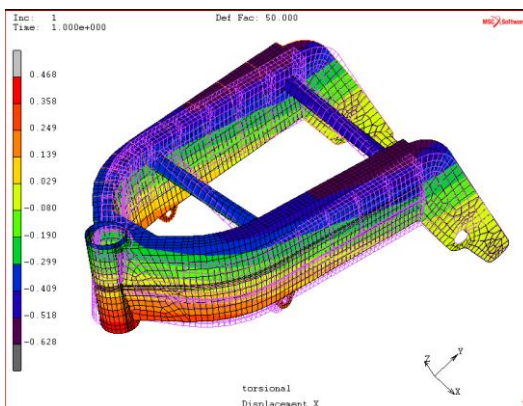


Tensión Von Mises

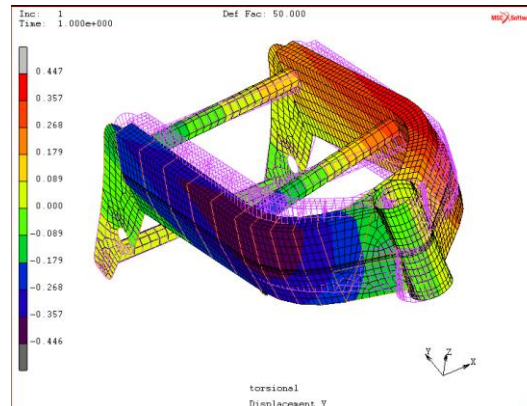


**TORSIÓN**

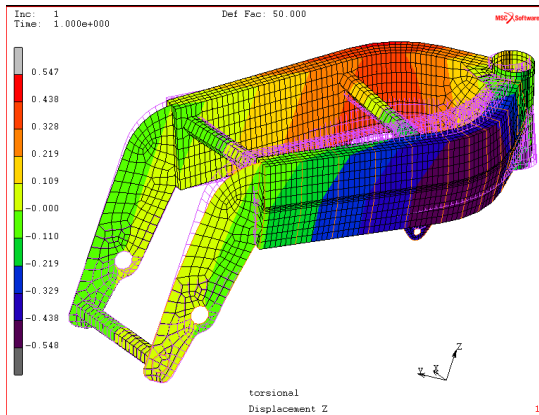
Desplazamiento en x



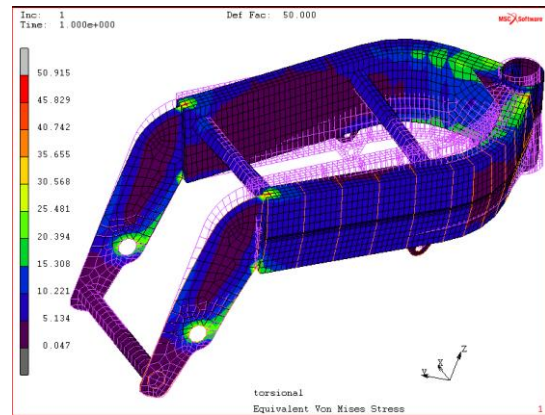
Desplazamiento en y



Desplazamiento en z

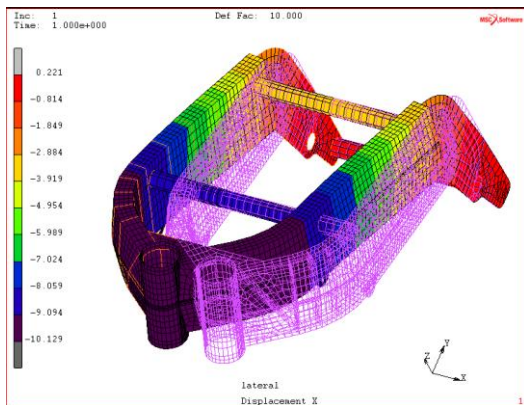


Tensión Von Mises

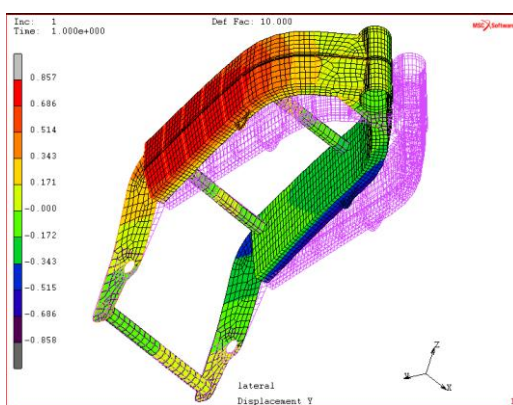


**FLEXIÓN**

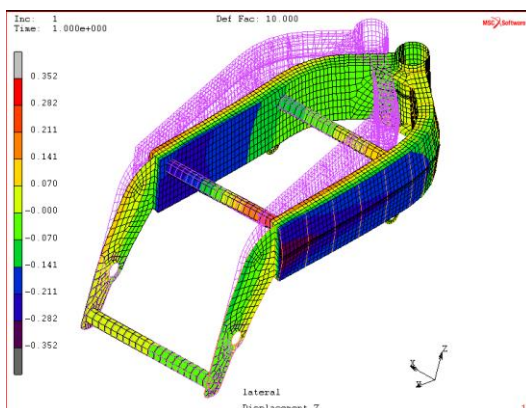
Desplazamiento en x



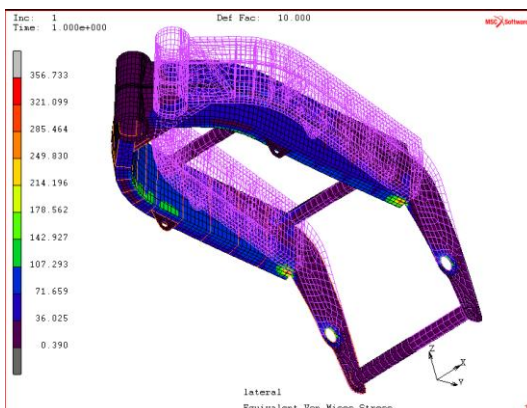
Desplazamiento en y



Desplazamiento en z



Tensión Von Mises



	<b>FRENADA</b>	<b>TORSIÓN</b>	<b>FLEXIÓN</b>
<b>DESPLAZAMIENTO X</b>	0.097	0.628	10.129
<b>DESPLAZAMIENTO Y</b>	0.756	0.447	0.858
<b>DESPLAZAMIENTO Z</b>	1.052	0.548	0.352
<b>VON MISES</b>	64.461	50.915	356.733

❖ **MODELO 2**

En este segundo chasis se trata el pandeo local con una ligera inclinación de la chapa que se encuentra en la mitad de cada una de las vigas que unen la pipa con la pieza que alberga el eje del basculante.

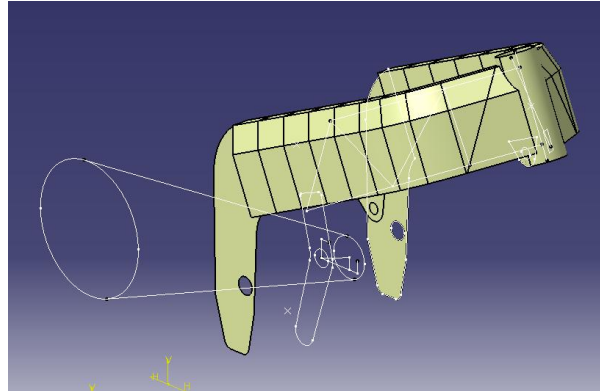


Figura 5.11

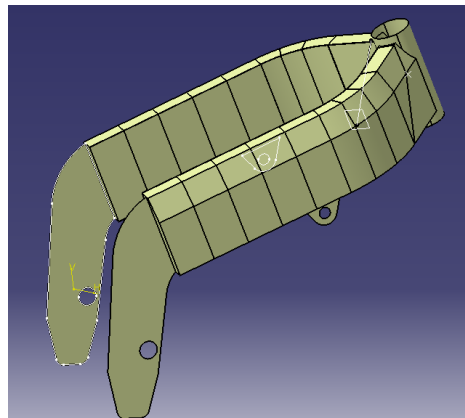
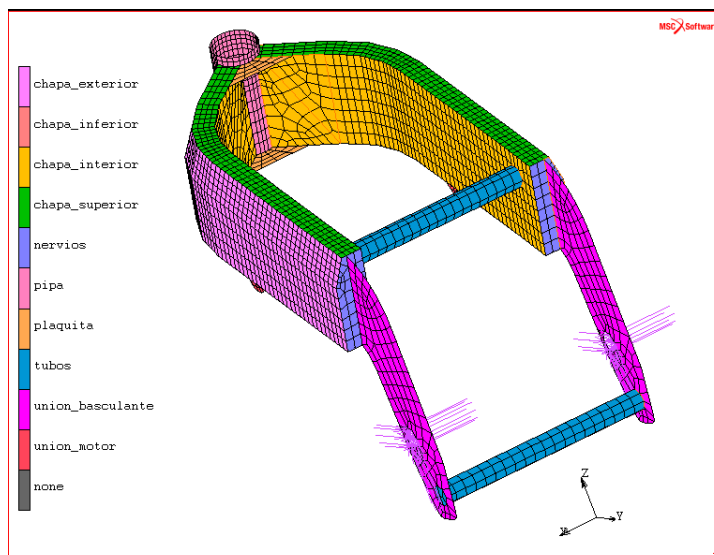


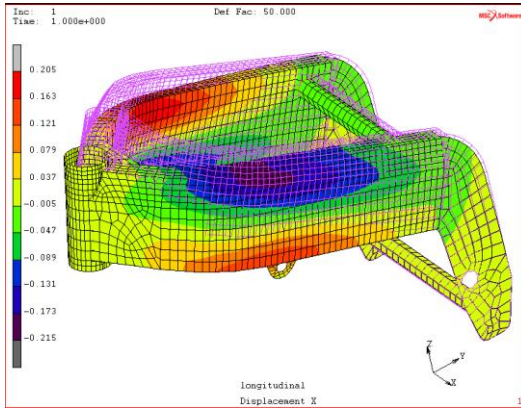
Figura 5.12

- **CASO 2a** → Modelo sin nervios y sin tubo de refuerzo

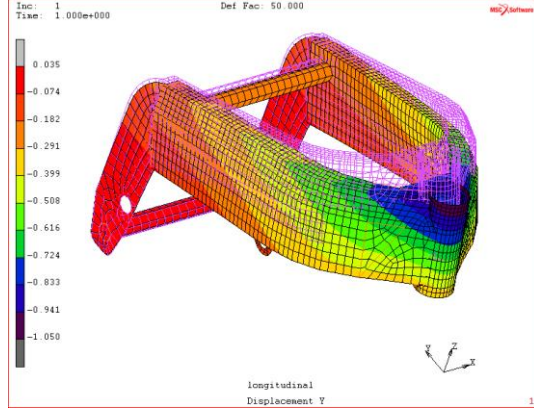


**FRENADA**

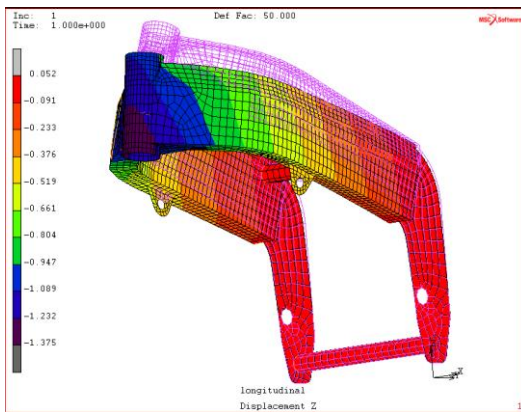
Desplazamiento en x



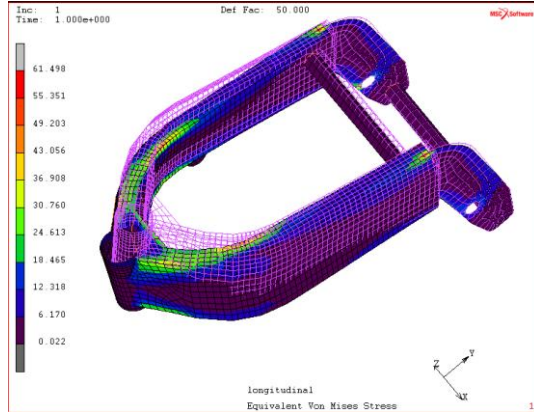
Desplazamiento en y



Desplazamiento en z

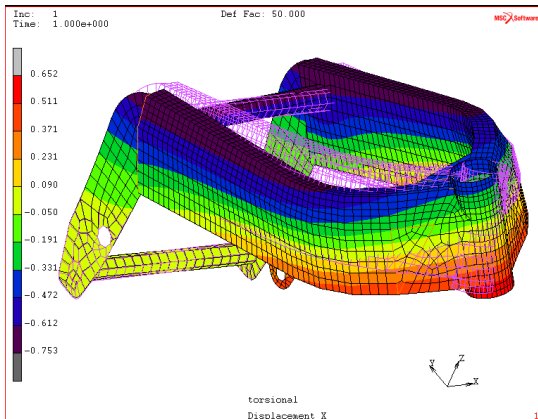


Tensión Von Mises

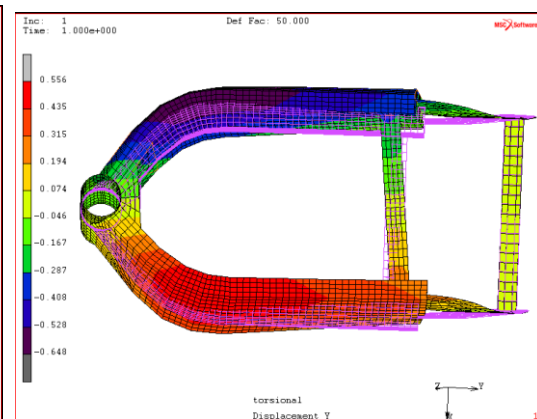


**TORSIÓN**

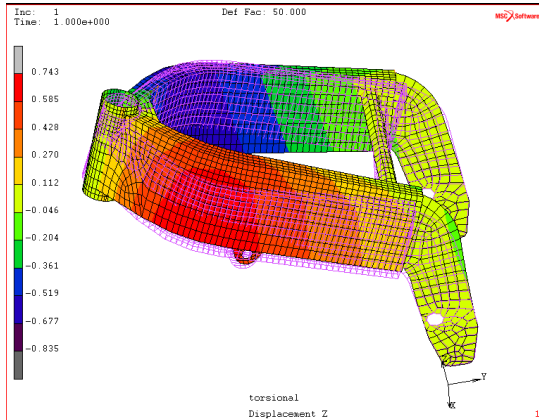
Desplazamiento en x



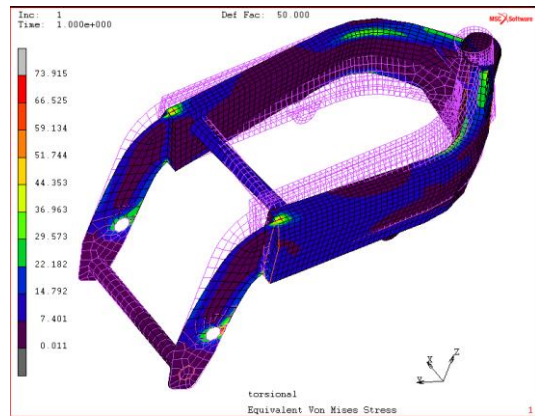
Desplazamiento en y



Desplazamiento en z

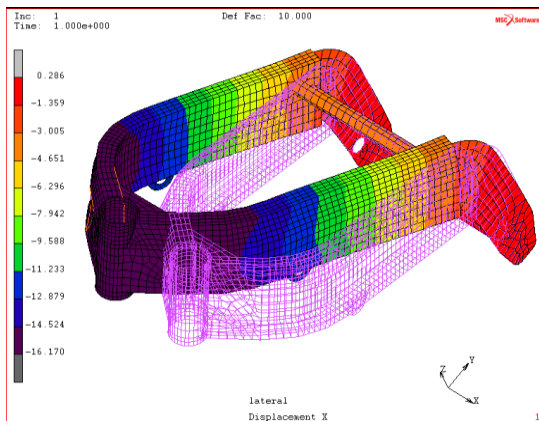


Tensión Von Mises

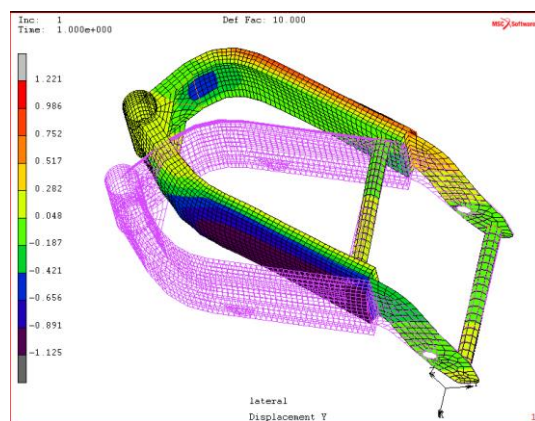


**FLEXIÓN**

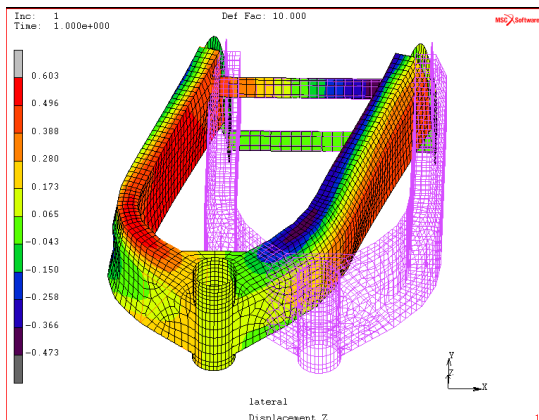
Desplazamiento en x



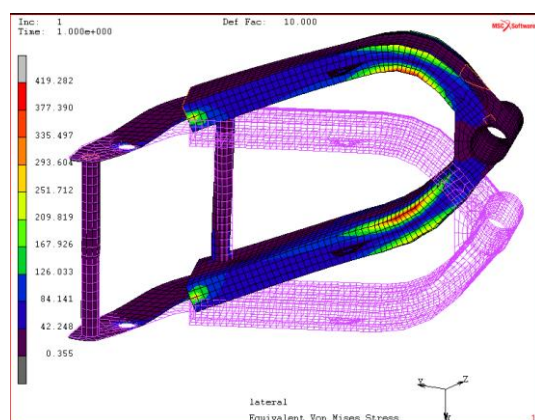
Desplazamiento en y



Desplazamiento en z



Tensión Von Mises

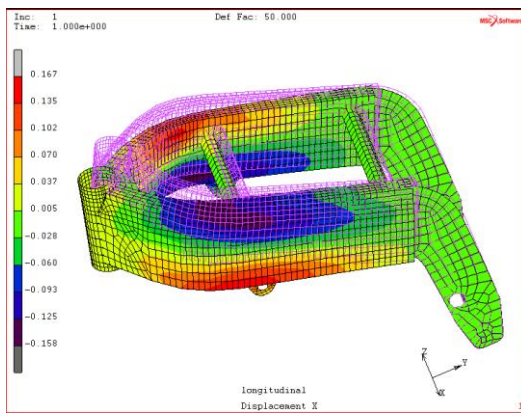


	<b>FRENADA</b>	<b>TORSIÓN</b>	<b>FLEXIÓN</b>
<b>DESPLAZAMIENTO X</b>	0.215	0.753	16.170
<b>DESPLAZAMIENTO Y</b>	1.050	0.648	1.221
<b>DESPLAZAMIENTO Z</b>	1.375	0.835	0.603
<b>VON MISES</b>	61.498	73.915	419.282

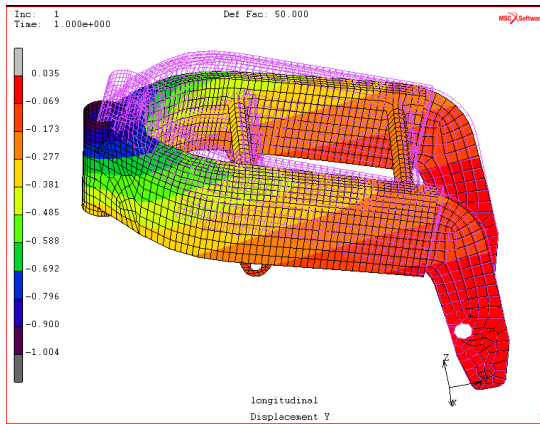
- CASO 2b → Modelo sin nervios y con tubo de refuerzo

**FRENADA**

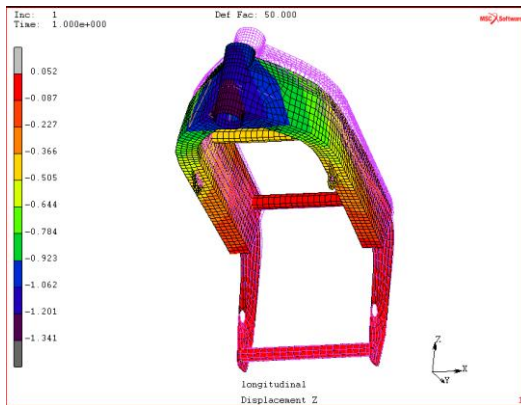
Desplazamiento en x



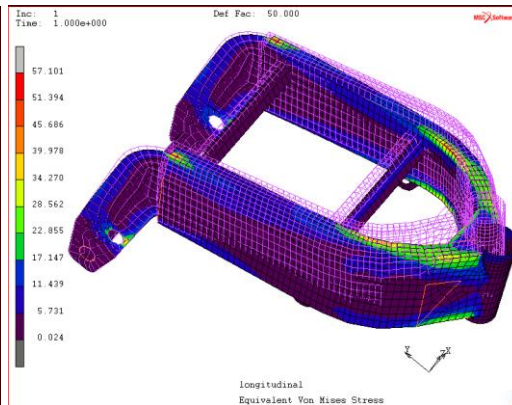
Desplazamiento en y



Desplazamiento en z

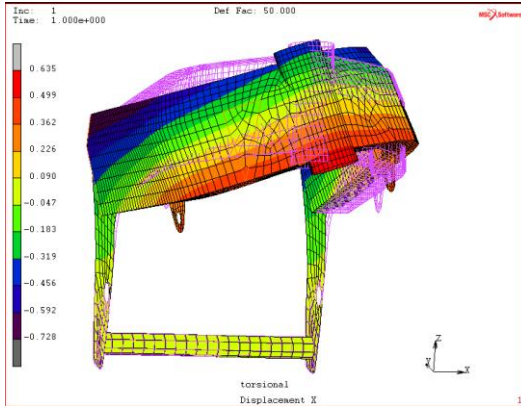


Tensión Von Mises

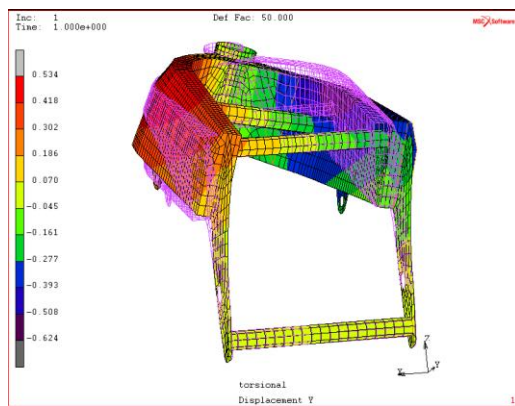


**TORSIÓN**

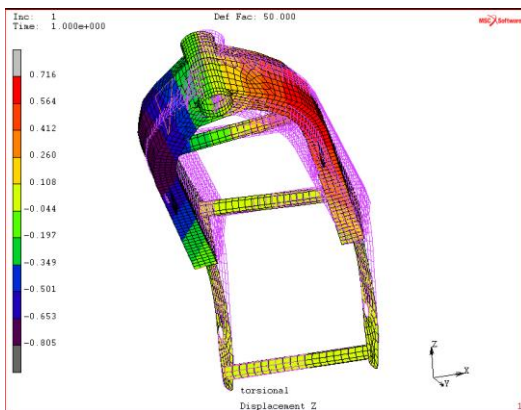
Desplazamiento en x



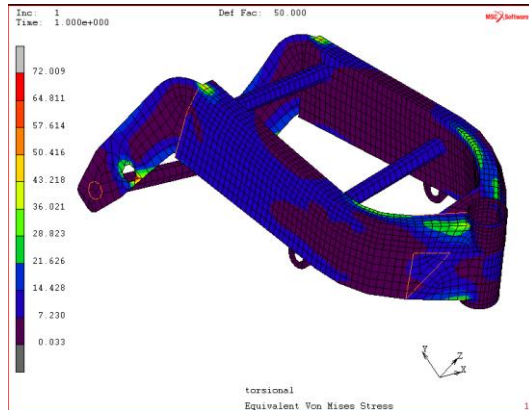
Desplazamiento en y



Desplazamiento en z

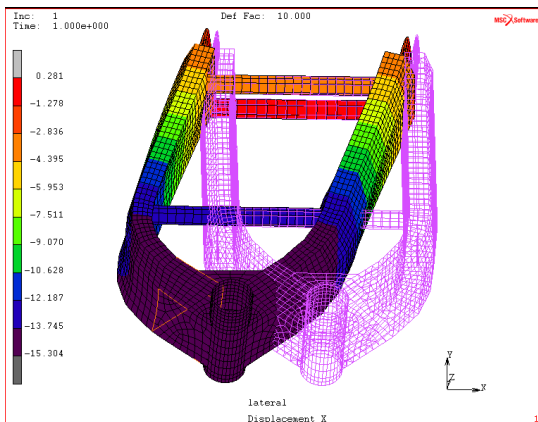


Tensión Von Mises

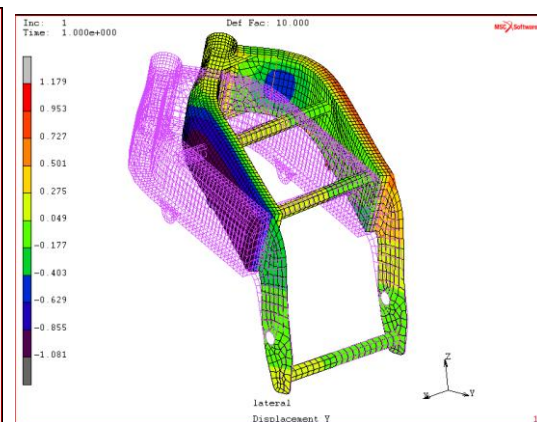


**FLEXIÓN**

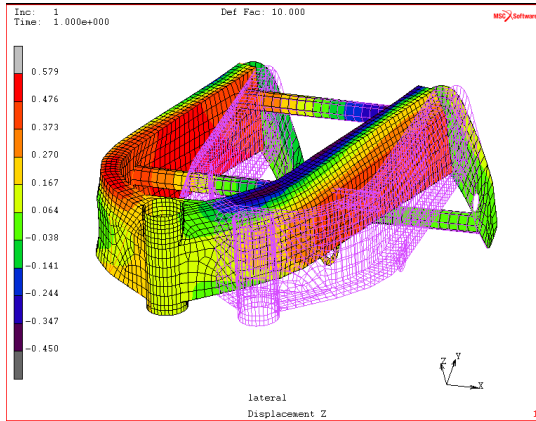
Desplazamiento en x



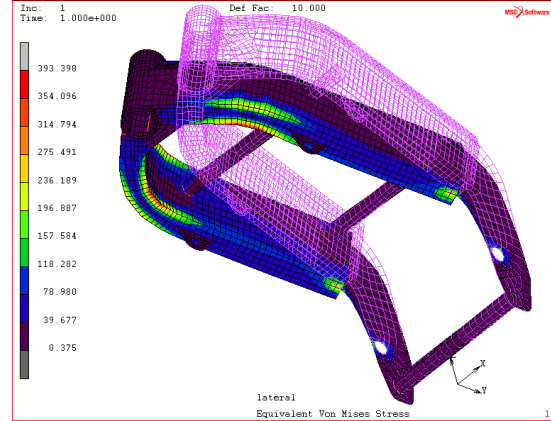
Desplazamiento en y



Desplazamiento en z



Tensión Von Mises

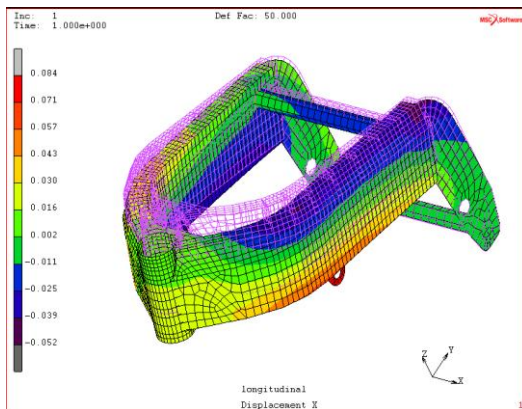


	<i>FRENADA</i>	<i>TORSIÓN</i>	<i>FLEXIÓN</i>
<i>DESPLAZAMIENTO X</i>	0.167	0.728	15.304
<i>DESPLAZAMIENTO Y</i>	1.004	0.624	1.179
<i>DESPLAZAMIENTO Z</i>	1.341	0.805	0.579
<i>VON MISES</i>	57.101	72.009	393.398

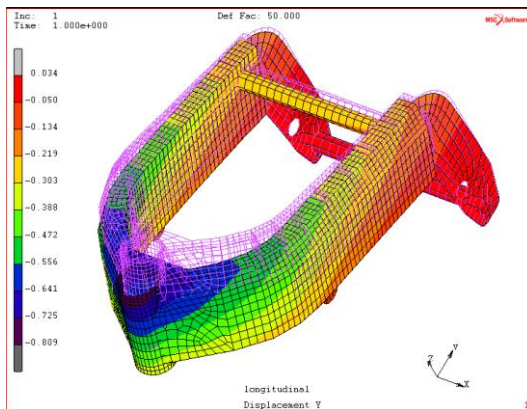
- CASO 2c → Modelo con nervios y sin tubo de refuerzo

**FRENADA**

Desplazamiento en x



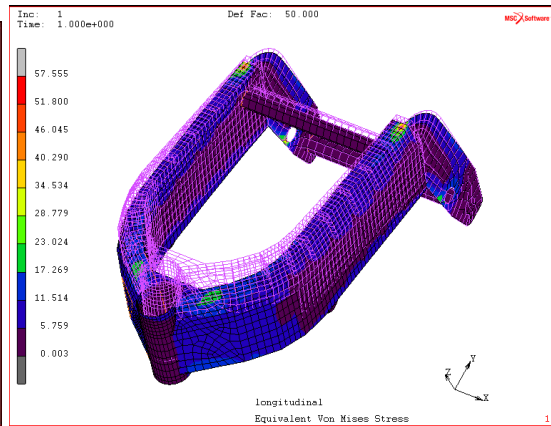
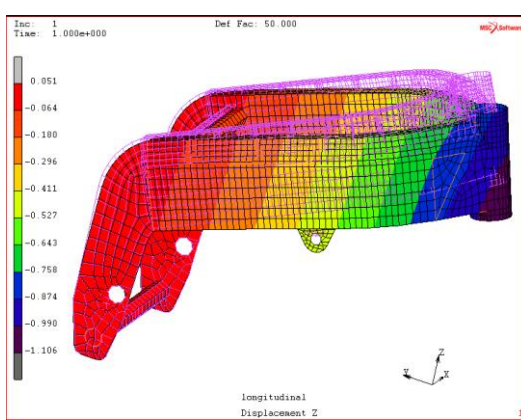
Desplazamiento en y





Desplazamiento en z

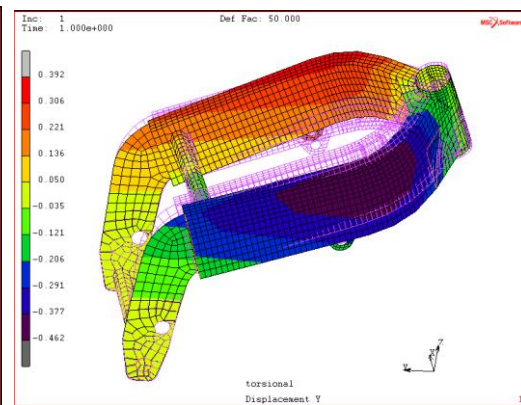
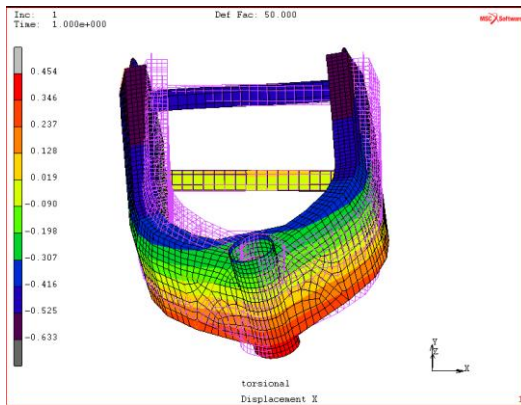
Tensión Von Mises



**TORSIÓN**

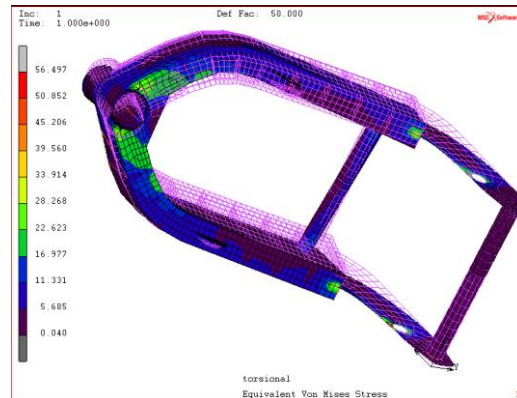
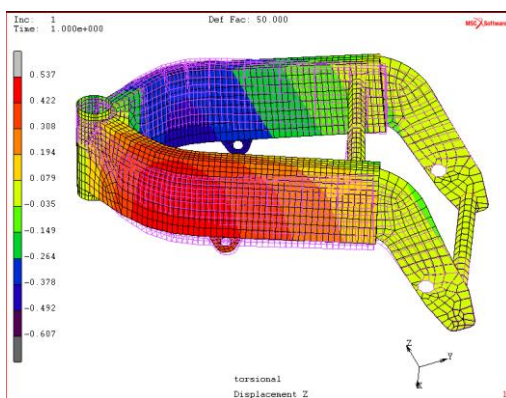
Desplazamiento en x

Desplazamiento en y



Desplazamiento en z

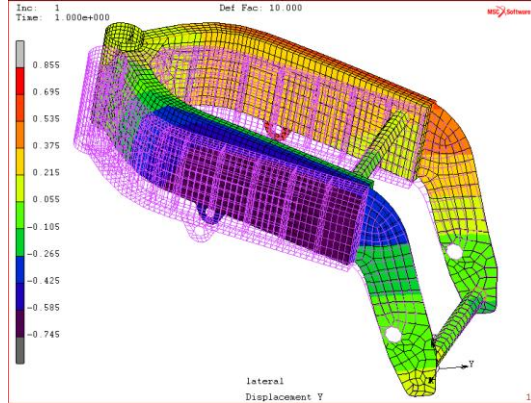
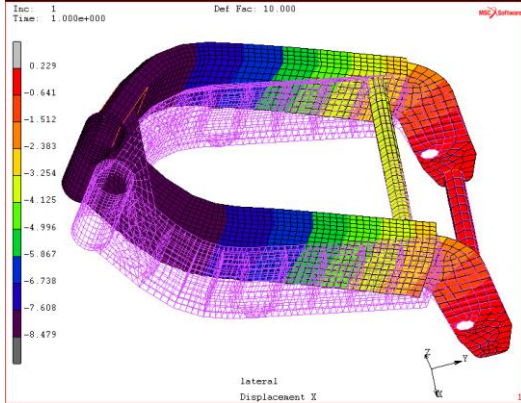
Tensión Von Mises



**FLEXIÓN**

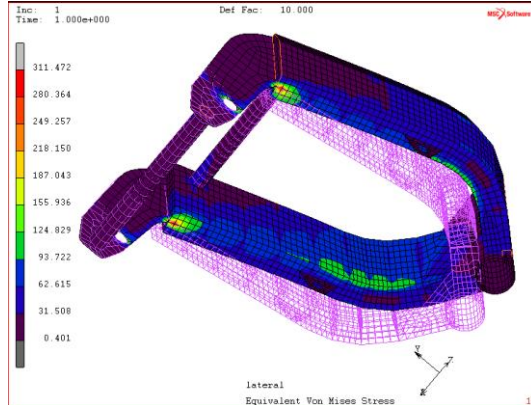
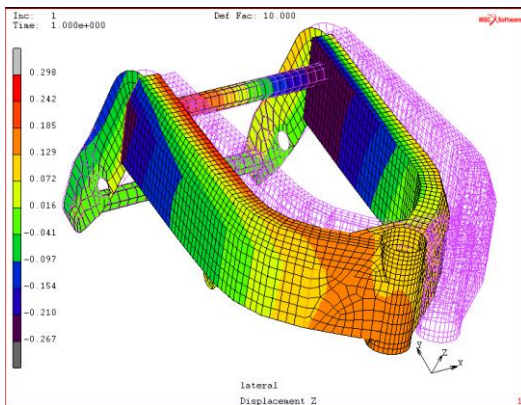
Desplazamiento en x

Desplazamiento en y



Desplazamiento en z

Tensión Von Mises

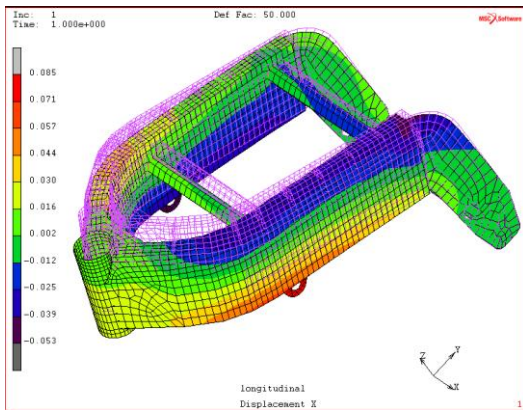


	<b>FRENADA</b>	<b>TORSIÓN</b>	<b>FLEXIÓN</b>
<b>DESPLAZAMIENTO X</b>	0.084	0.633	8.479
<b>DESPLAZAMIENTO Y</b>	0.809	0.462	0.855
<b>DESPLAZAMIENTO Z</b>	1.106	0.607	0.298
<b>VON MISES</b>	57.555	56.497	311.472

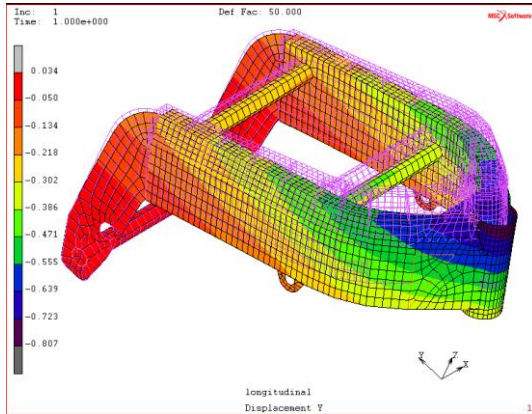
- CASO 2d → Modelo con nervios y con tubo de refuerzo

**FRENADA**

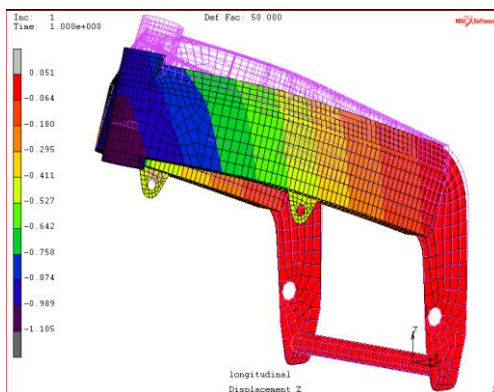
Desplazamiento en x



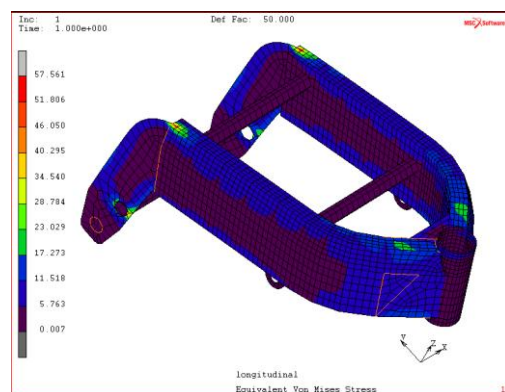
Desplazamiento en y



Desplazamiento en z

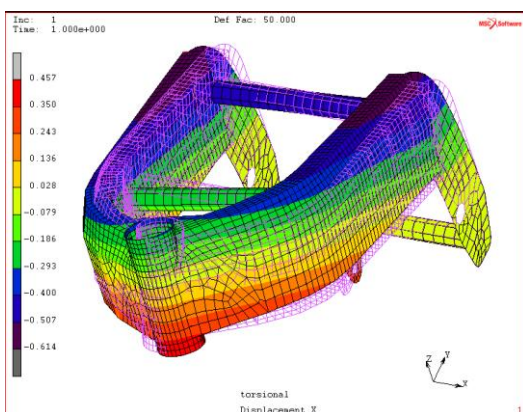


Tensión Von Mises

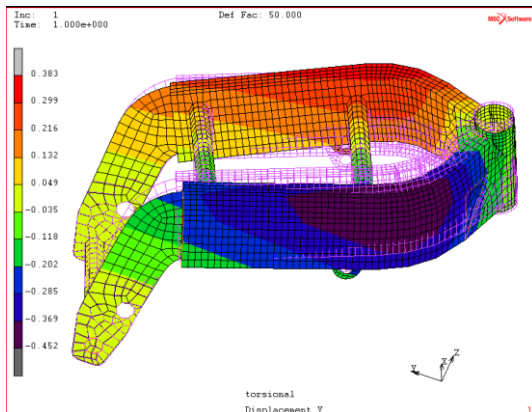


**TORSIÓN**

Desplazamiento en x

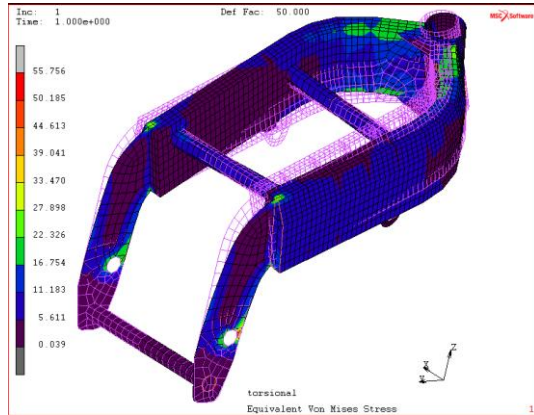
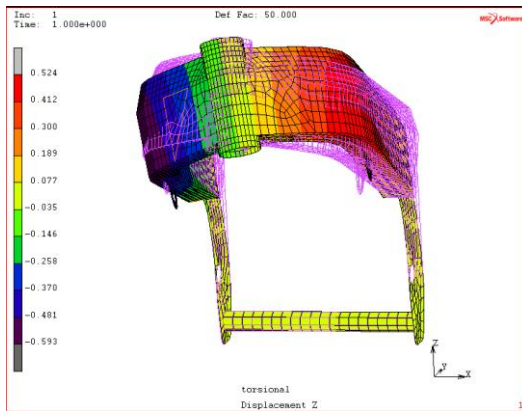


Desplazamiento en y



Desplazamiento en z

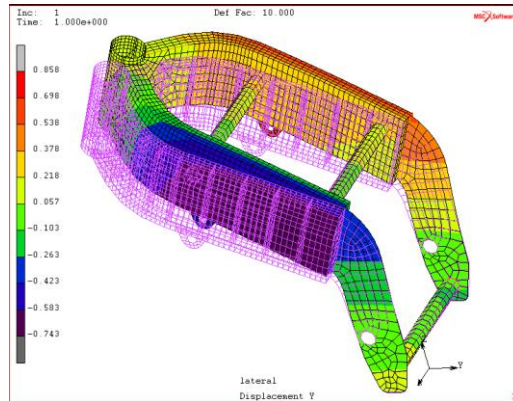
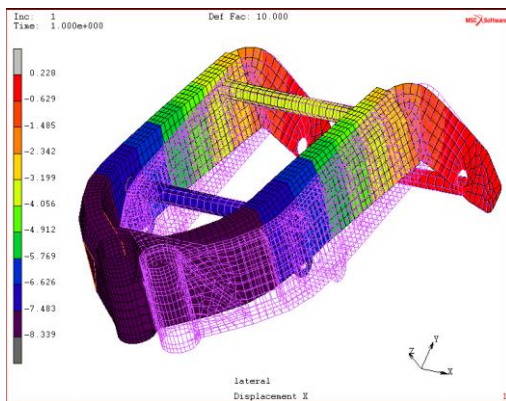
Tensión Von Mises



**FLEXIÓN**

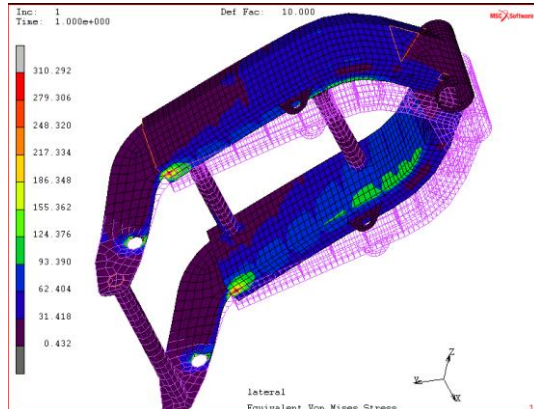
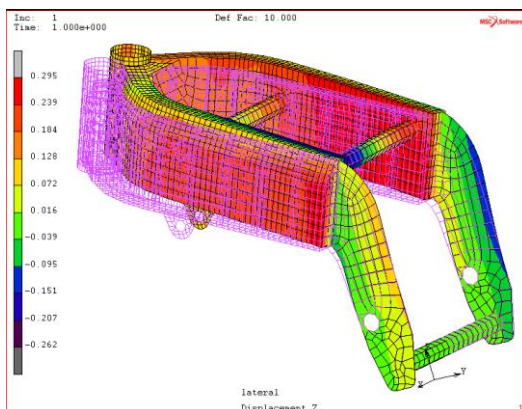
Desplazamiento en x

Desplazamiento en y



Desplazamiento en z

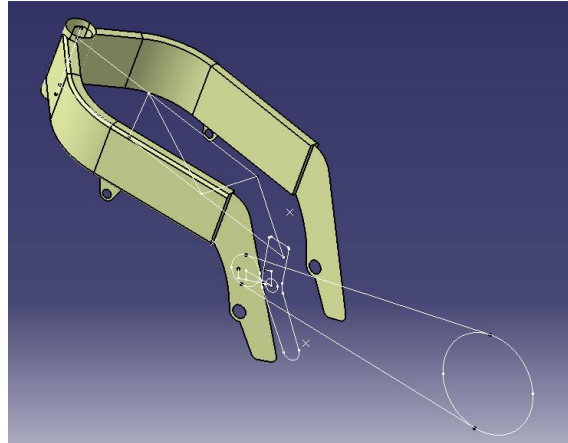
Tensión Von Mises



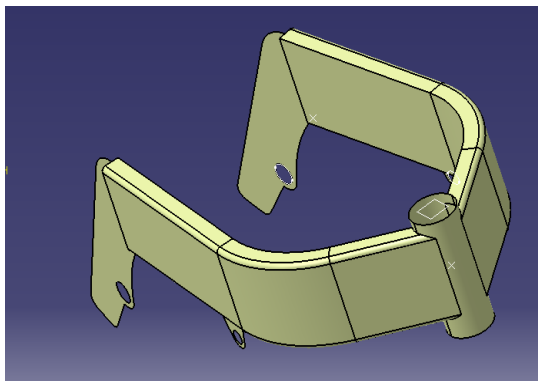
	<b>FRENADA</b>	<b>TORSIÓN</b>	<b>FLEXIÓN</b>
<b>DESPLAZAMIENTO X</b>	0.085	0.614	8.339
<b>DESPLAZAMIENTO Y</b>	0.807	0.452	0.858
<b>DESPLAZAMIENTO Z</b>	1.105	0.593	0.295
<b>VON MISES</b>	57.561	55.756	310.292

❖ **MODELO 3**

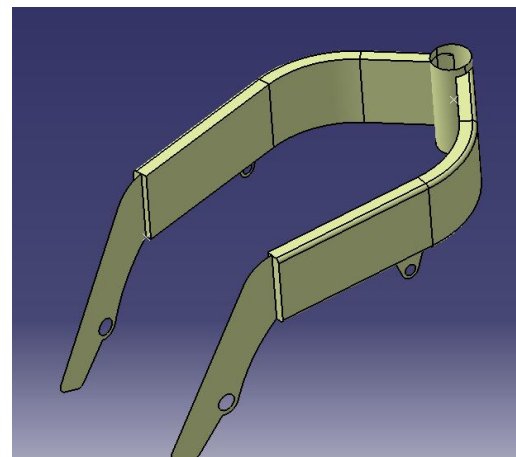
En este tercer modelo se introduce una curvatura mayor en la parte más cercana a la pipa de dirección para intentar absorber las mayores tensiones y evitar la deformación de esta zona.



*Figura 5.13*

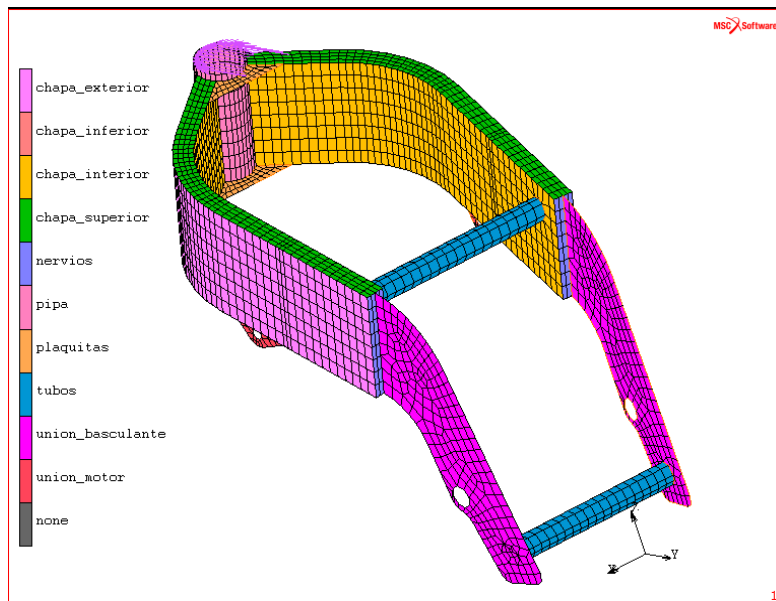


*Figura 5.14*



*Figura 5.15*

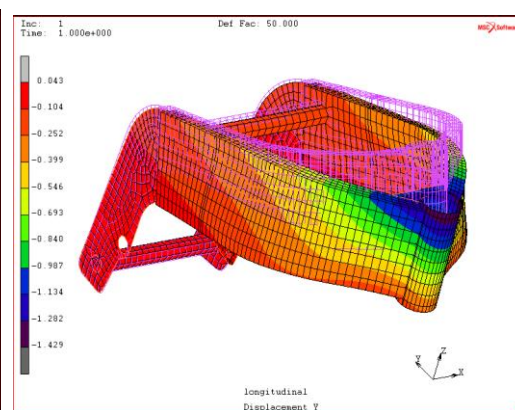
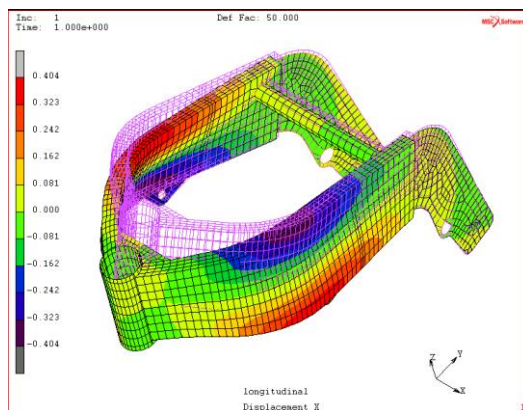
- CASO 3a → Modelo sin nervios y sin tubo de refuerzo



**FRENADA**

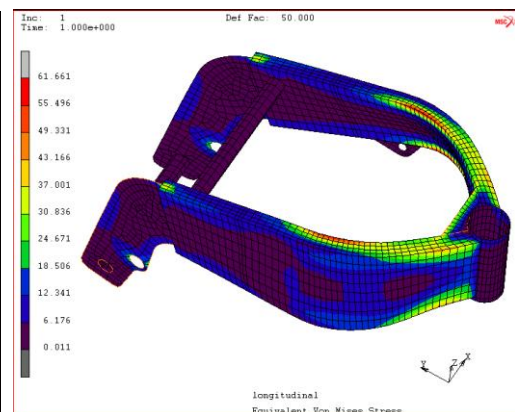
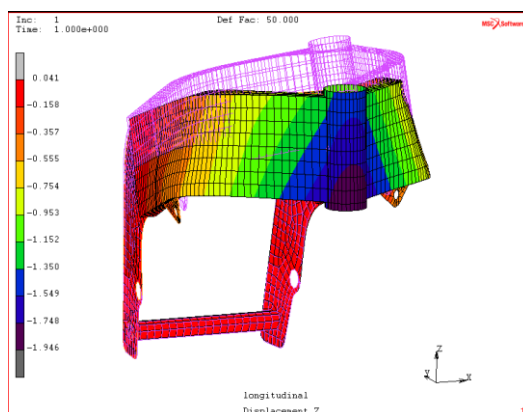
Desplazamiento en x

Desplazamiento en y



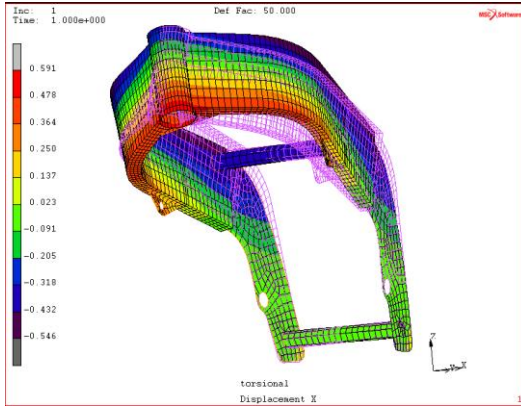
Desplazamiento en z

Tensión Von Mises

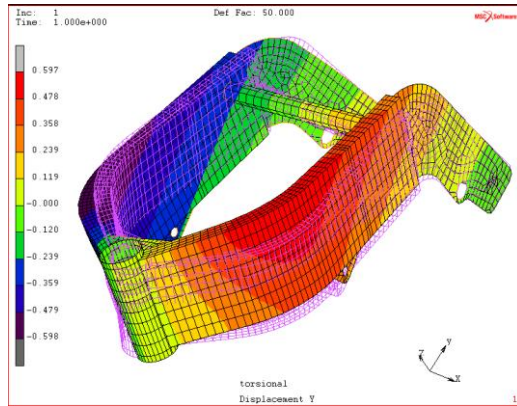


**TORSIÓN**

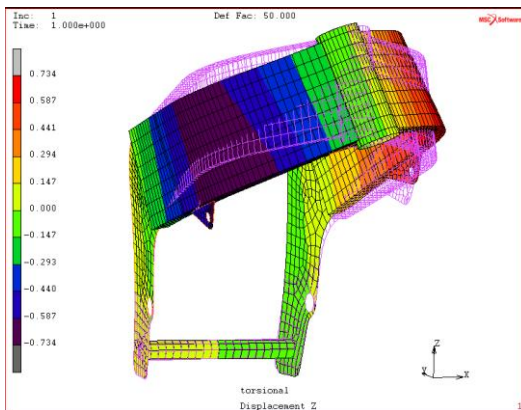
Desplazamiento en x



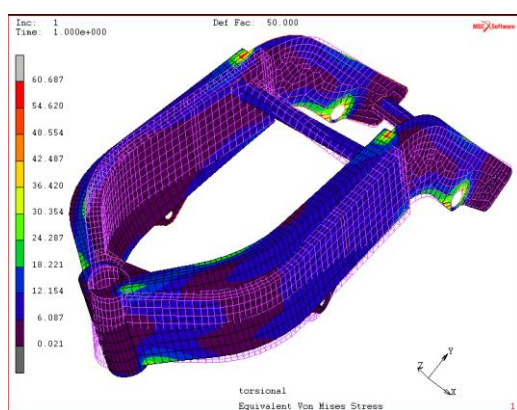
Desplazamiento en y



Desplazamiento en z

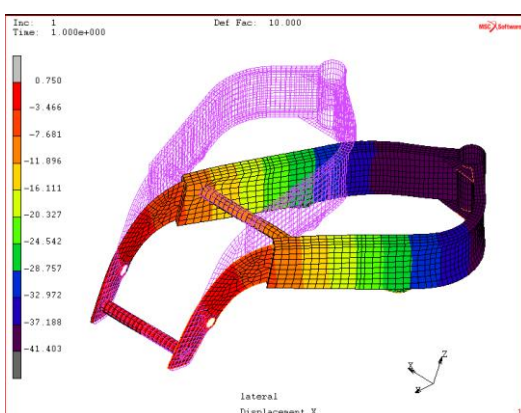


Tensión Von Mises

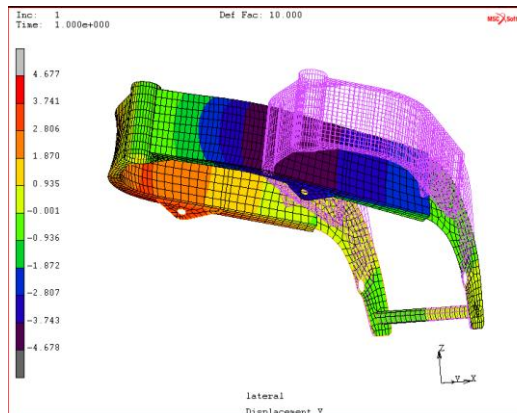


**FLEXIÓN**

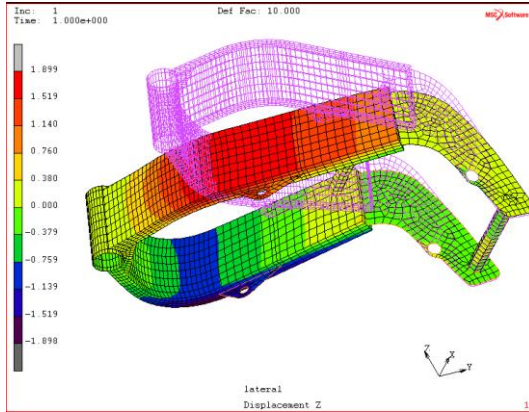
Desplazamiento en x



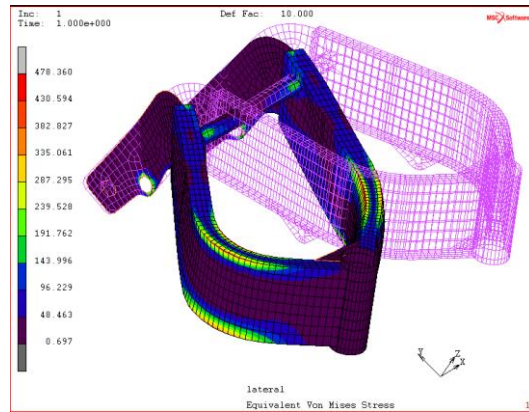
Desplazamiento en y



Desplazamiento en z



Tensión Von Mises

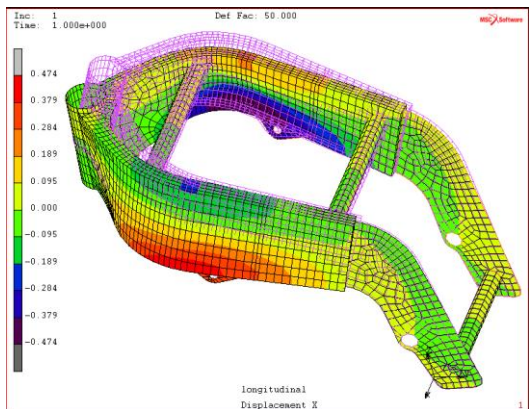


	<i>FRENADA</i>	<i>TORSIÓN</i>	<i>FLEXIÓN</i>
<i>DESPLAZAMIENTO X</i>	0.404	0.591	41.403
<i>DESPLAZAMIENTO Y</i>	1.429	0.598	4.678
<i>DESPLAZAMIENTO Z</i>	1.946	0.734	1.899
<i>VON MISES</i>	61.661	60.687	438.760

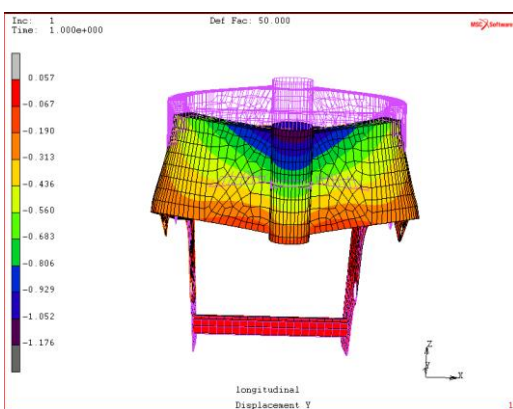
- CASO 3b → Modelo sin nervios y con tubo de refuerzo

**FRENADA**

Desplazamiento en x



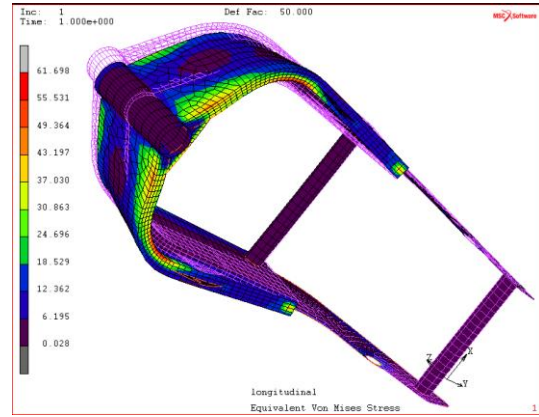
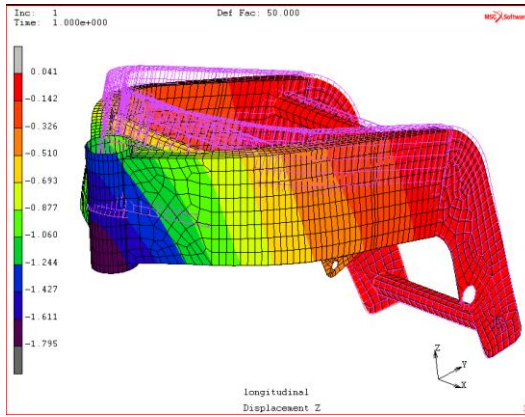
Desplazamiento en y





Desplazamiento en z

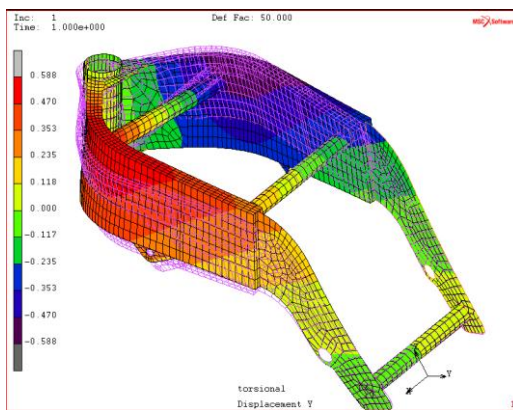
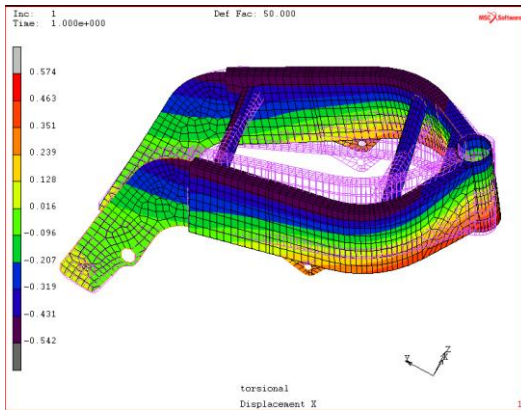
Tensión Von Mises



**TORSIÓN**

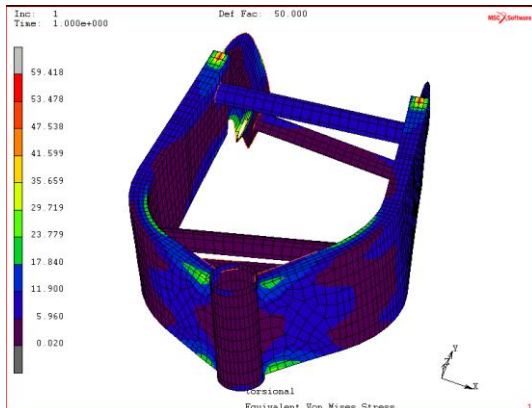
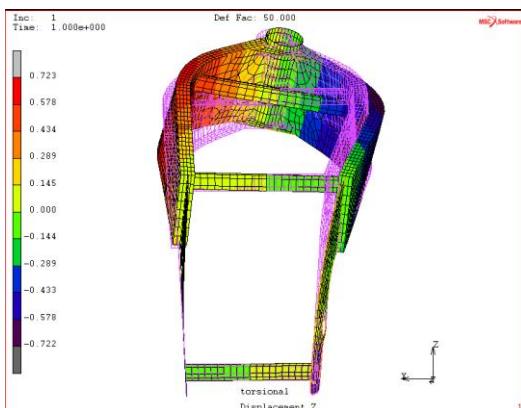
Desplazamiento en x

Desplazamiento en y



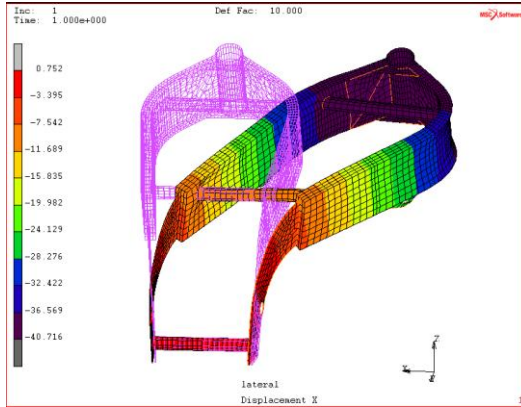
Desplazamiento en z

Tensión Von Mises

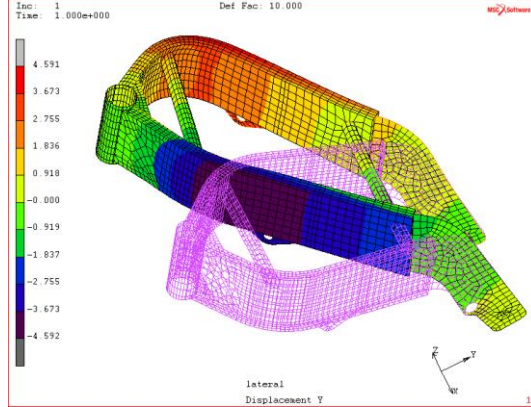


**FLEXIÓN**

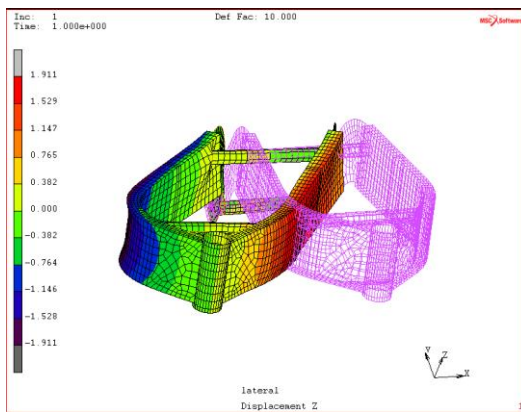
Desplazamiento en x



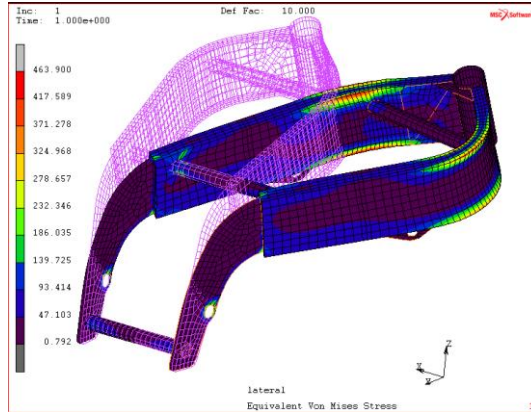
Desplazamiento en y



Desplazamiento en z



Tensión Von Mises

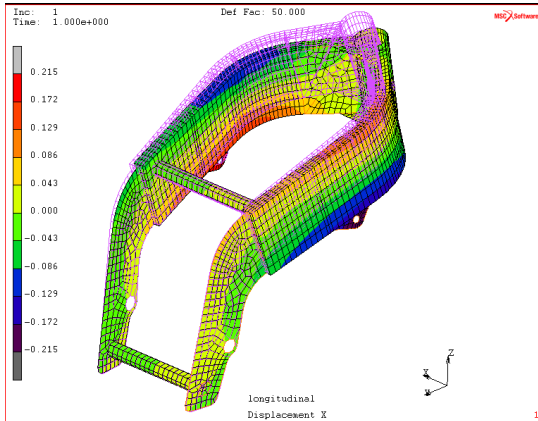


	<b>FRENADA</b>	<b>TORSIÓN</b>	<b>FLEXIÓN</b>
<b>DESPLAZAMIENTO X</b>	0.474	0.574	40.716
<b>DESPLAZAMIENTO Y</b>	1.176	0.588	4.592
<b>DESPLAZAMIENTO Z</b>	1.795	0.723	1.911
<b>VON MISES</b>	61.698	59.418	463.900

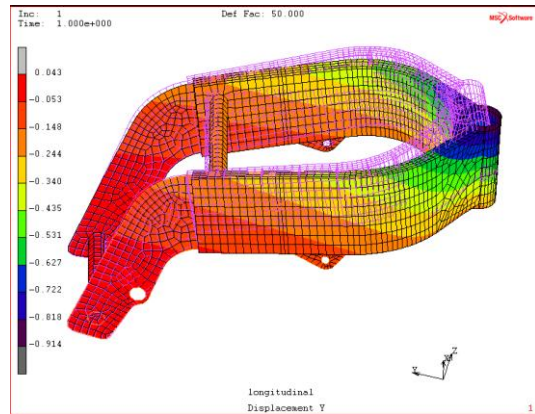
- CASO 3c → Modelo con nervios y sin tubo de refuerzo

**FRENADA**

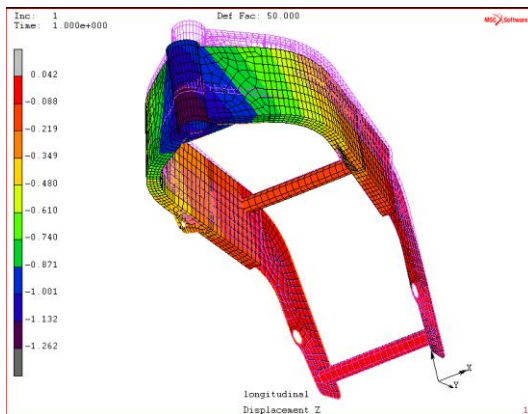
Desplazamiento en x



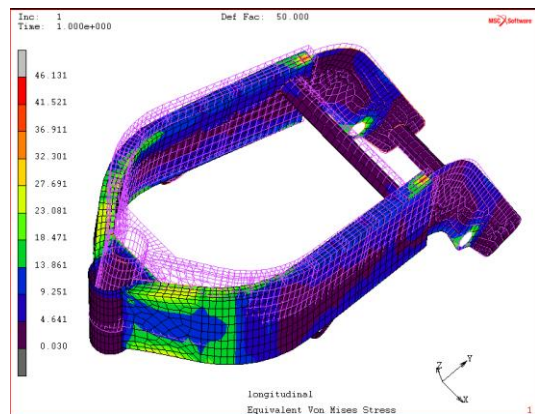
Desplazamiento en y



Desplazamiento en z

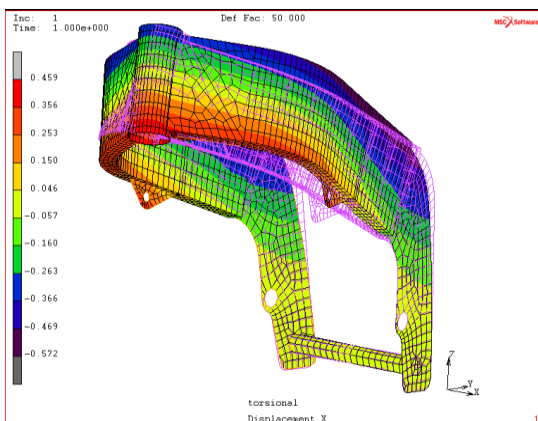


Tensión Von Mises

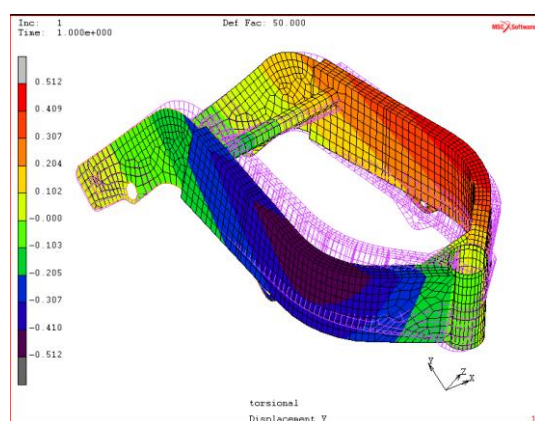


**TORSIÓN**

Desplazamiento en x

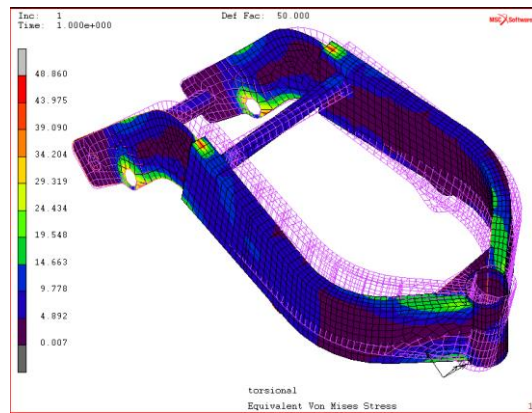
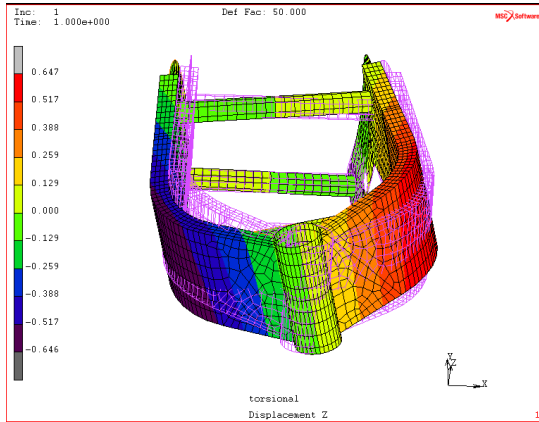


Desplazamiento en y



Desplazamiento en z

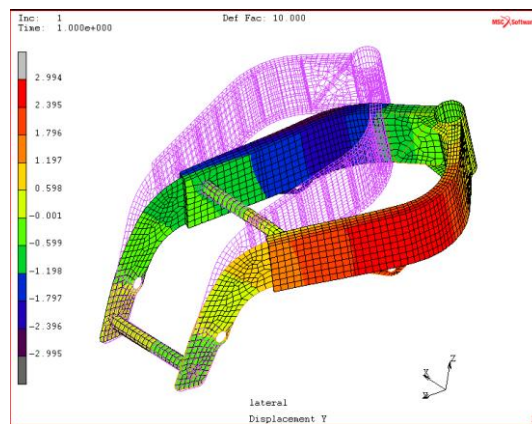
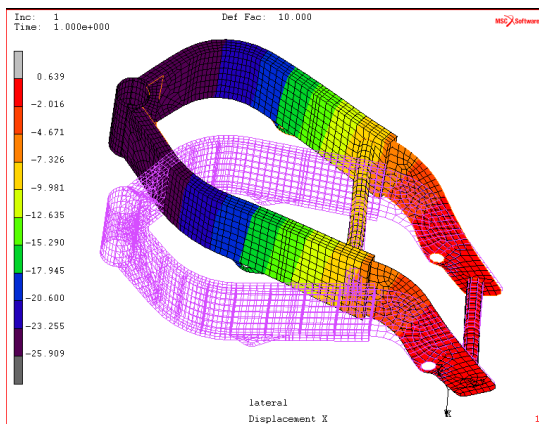
Tensión Von Mises



**FLEXIÓN**

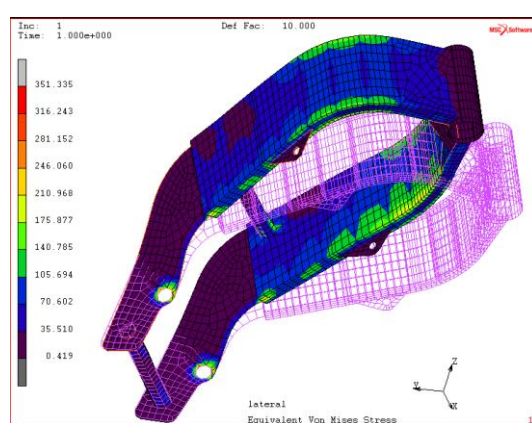
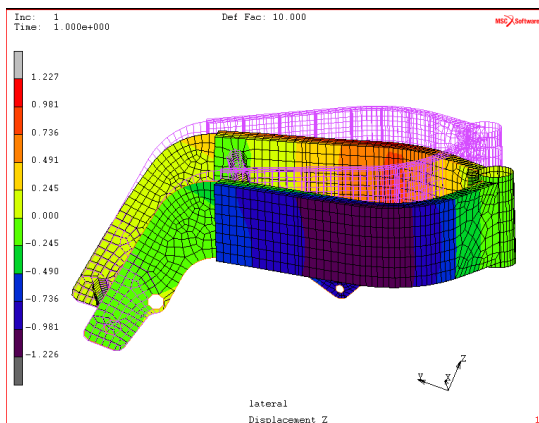
Desplazamiento en x

Desplazamiento en y



Desplazamiento en z

Tensión Von Mises

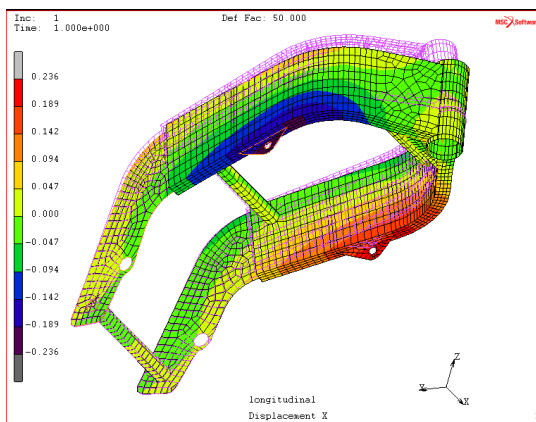


	<b>FRENADA</b>	<b>TORSIÓN</b>	<b>FLEXIÓN</b>
<b>DESPLAZAMIENTO X</b>	0.215	0.572	25.909
<b>DESPLAZAMIENTO Y</b>	0.914	0.512	2.995
<b>DESPLAZAMIENTO Z</b>	1.262	0.647	1.227
<b>VON MISES</b>	46.131	48.860	351.335

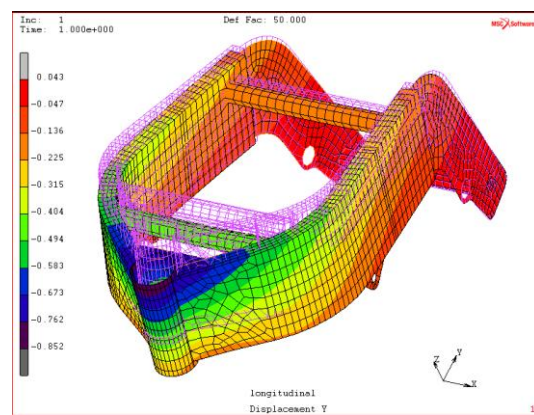
- CASO 3d → Modelo con nervios y con tubo de refuerzo

**FRENADA**

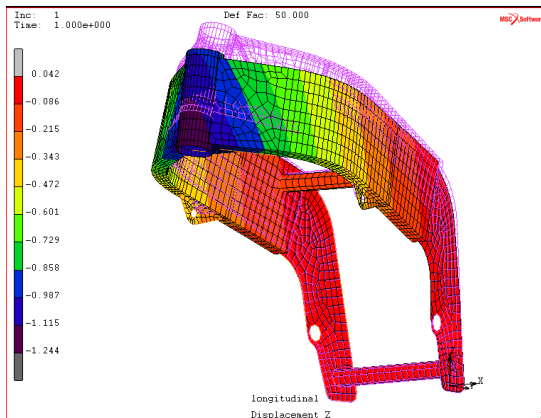
Desplazamiento en x



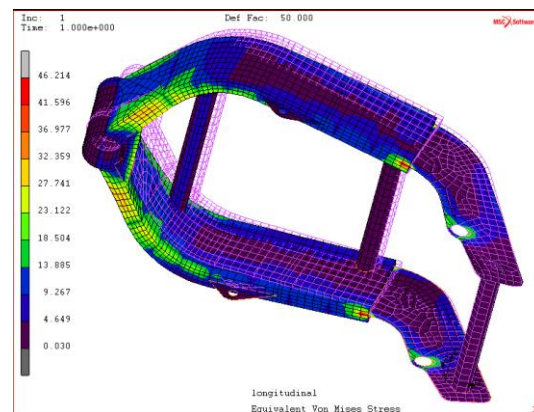
Desplazamiento en y



Desplazamiento en z



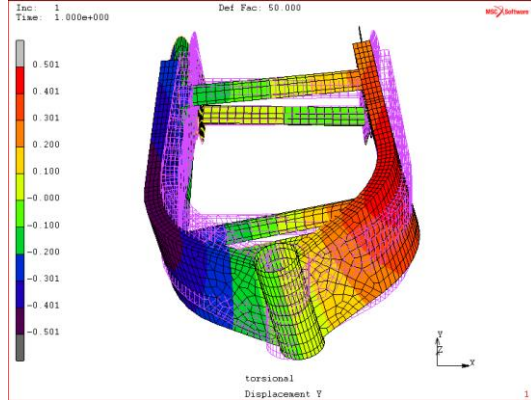
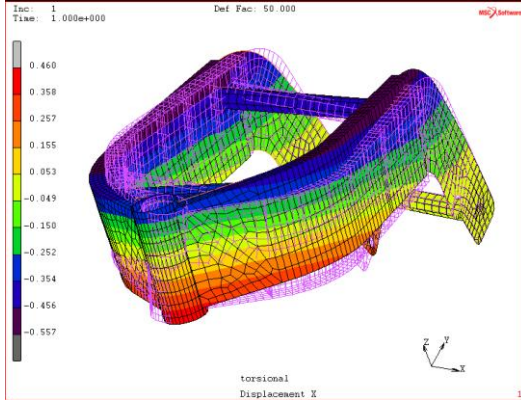
Tensión Von Mises



**TORSIÓN**

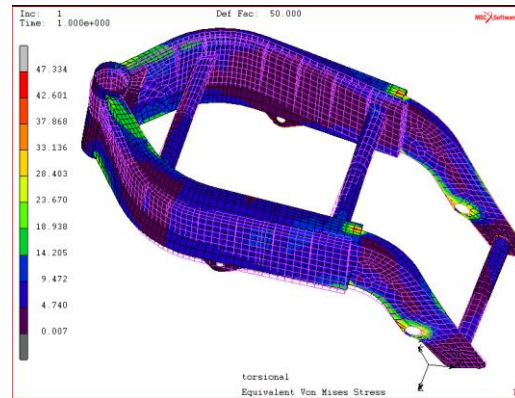
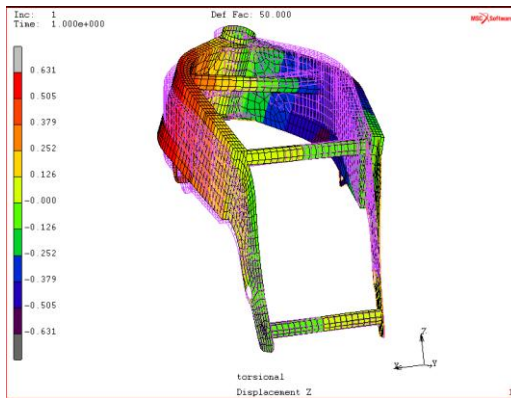
Desplazamiento en x

Desplazamiento en y



Desplazamiento en z

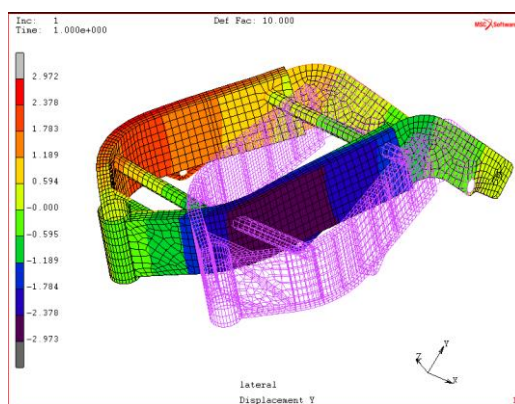
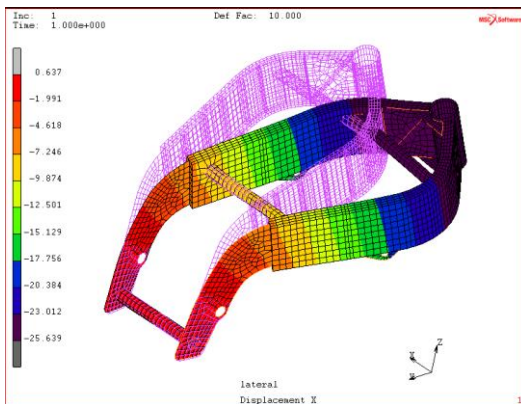
Tensión Von Mises



**FLEXIÓN**

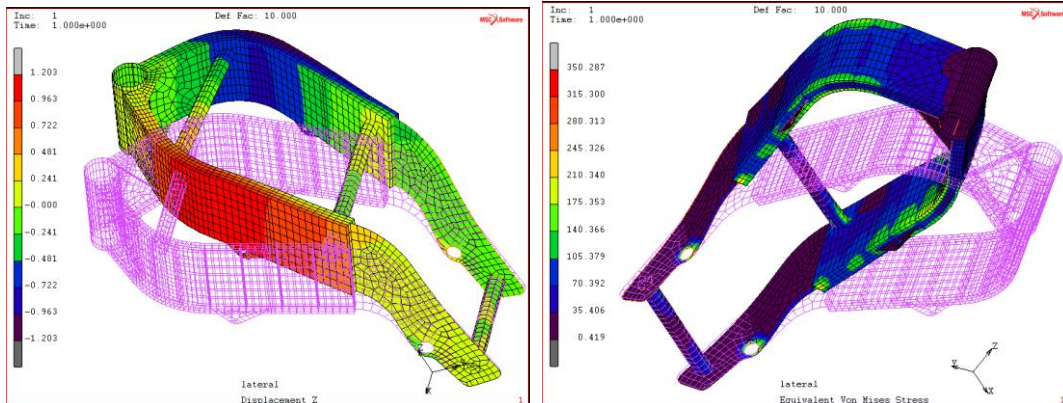
Desplazamiento en x

Desplazamiento en y



Desplazamiento en z

Tensión Von Mises



	<i>FRENADA</i>	<i>TORSIÓN</i>	<i>FLEXIÓN</i>
<i>DESPLAZAMIENTO X</i>	0.236	0.557	25.639
<i>DESPLAZAMIENTO Y</i>	0.852	0.501	2.973
<i>DESPLAZAMIENTO Z</i>	1.244	0.631	1.203
<i>VON MISES</i>	46.214	47.334	350.287

### 5.3 CONCLUSIONES

Una vez realizados los tests de frenada o longitudinal, de torsión o torsional y de flexión o lateral a cada modelo con sus evoluciones para tratar de conseguir la mayor rigidez, se realiza un análisis para elegir la geometría más favorable.

Se puede apreciar que la introducción de nervios en las vigas que conectan la pipa con la unión al basculante influye muy positivamente en el buen comportamiento del chasis, reduciendo las deformaciones y las fuerzas que se crean sobre determinadas partes del basculante.

Por otro lado, el tubo situado en la parte delantera del chasis no aporta gran rigidez, al contrario de lo que se podría pensar, ya que siempre parece más seguro un chasis con refuerzos, siendo los resultados similares a cuando no se coloca. Por lo tanto tan sólo aportará peso al conjunto, de modo que se prescindirá de él, puesto que no lo mejora.

De esta manera, comparando los chasis de cada modelo que presenta los mejores resultados, obtenemos que en todos los casos, los mejores son aquellos en los que se incorporan tanto nervios como el tubo delantero. Pero al ser muy pequeña la diferencia entre este caso y el que sólo introduce los nervios, los elegidos serán éstos últimos, no sólo por la reducción de peso, sino también por una mejor accesibilidad a las zonas internas de la motocicleta, una vez que se encuentre en carrera. Además el coste de fabricación y material no compensaría.

Fijándonos principalmente en las tensiones que se crean, ya que los desplazamientos se verán influenciados por ellas, se ve claramente que dos resultados son mejores.

**MODELO 1**

	<b>FRENADA</b>	<b>TORSIÓN</b>	<b>FLEXIÓN</b>
<b>DESPLAZAMIENTO X</b>	0.088	0.654	10.366
<b>DESPLAZAMIENTO Y</b>	0.767	0.459	0.862
<b>DESPLAZAMIENTO Z</b>	1.052	0.563	0.362
<b>VON MISES</b>	64.317	52.605	359.959

**MODELO 2**

	<b>FRENADA</b>	<b>TORSIÓN</b>	<b>FLEXIÓN</b>
<b>DESPLAZAMIENTO X</b>	0.084	0.633	8.479
<b>DESPLAZAMIENTO Y</b>	0.809	0.462	0.855
<b>DESPLAZAMIENTO Z</b>	1.106	0.607	0.298
<b>VON MISES</b>	57.555	56.497	311.472

**MODELO 3**

	<b>FRENADA</b>	<b>TORSIÓN</b>	<b>FLEXIÓN</b>
<b>DESPLAZAMIENTO X</b>	0.215	0.572	25.909
<b>DESPLAZAMIENTO Y</b>	0.914	0.512	2.995
<b>DESPLAZAMIENTO Z</b>	1.262	0.647	1.227
<b>VON MISES</b>	46.131	48.860	351.335

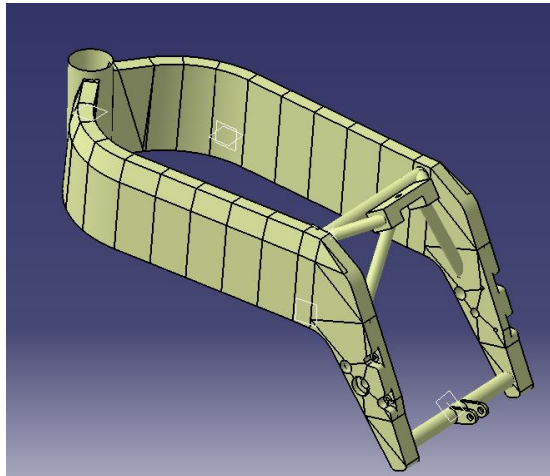
Los modelos 2 y 3 tienen las menores tensiones, el 2 en la flexión y el 3 en frenada y curva, por lo que a continuación se creará un modelo en el se combinen ambos. Se tratará de mejorar su comportamiento, ya que los resultados demuestran que el 3 no está muy bien diseñado para cargas laterales, ya que se deforma mucho en comparación con los otros, aunque la tensión es menor que en el 1. De esta forma se intentará optimizar la geometría para poder obtener un chasis lo más resistente posible.

## 6 DISEÑO DEL MODELO FINAL

### 6.1 GEOMETRÍA MEJORADA

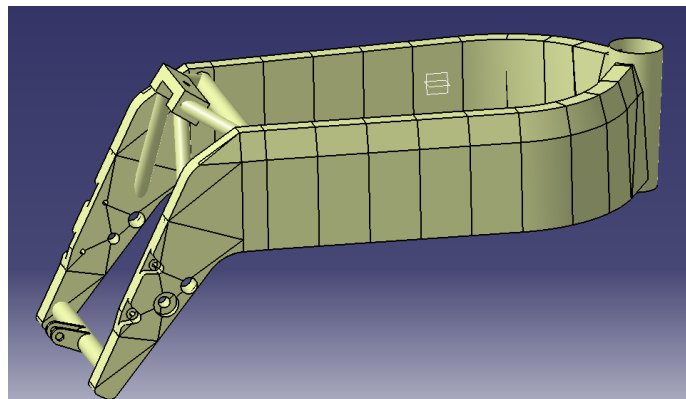
En primer lugar, se rediseña el chasis completo uniendo las dos geometrías elegidas y fijando las medidas exactas para que sea intercambiable con el chasis tubular triangulado realizado en acero por otro de los miembros del equipo. La idea es que pueda ser introducido en la motocicleta en lugar del de acero sin tener que realizar ningún cambio en los demás sistemas ni partes de la moto. Por lo tanto, aunque los chasis de doble viga suelen ser más anchos y para otro tipo de motor, se adaptará a las condiciones impuestas por motostudent y por el chasis ya diseñado en acero.





*Figura 6.1-Chasis realizado con superficies*

En este modelo se sitúan los ejes y se diseña la parte que une las vigas con el basculante. Esta zona es delicada, ya que tiene que soportar tensiones elevadas y a su vez, debe pesar lo menos posible. Por este motivo se elige utilizar una viga-cajón en vez de un bloque de aluminio con vaciados. La viga cajón es capaz de soportar mejor las tensiones ya que el tener chapa en ambos lados presenta una mayor rigidez. Es de sección hueca pero va reforzada con nervios que unen los ejes con las paredes, de forma que se consigue disminuir el peso y aumentar la rigidez.



*Figura 6.2-Vista lateral del chasis*

Como se puede observar en la imagen extraída de Catia, del modelo 2 se ha tomado la pequeña inclinación en la parte superior de las dos vigas centrales para poder soportar mejor el pandeo local. Mientras que del modelo 3 lo que se ha tomado es que la curva que sigue la geometría de las dos vigas se más ancha en la zona cercana a la pipa y se vaya haciendo más estrecha a medida que se acerca a la viga cajón, manteniendo esta última anchura hasta el final de la viga cajón.

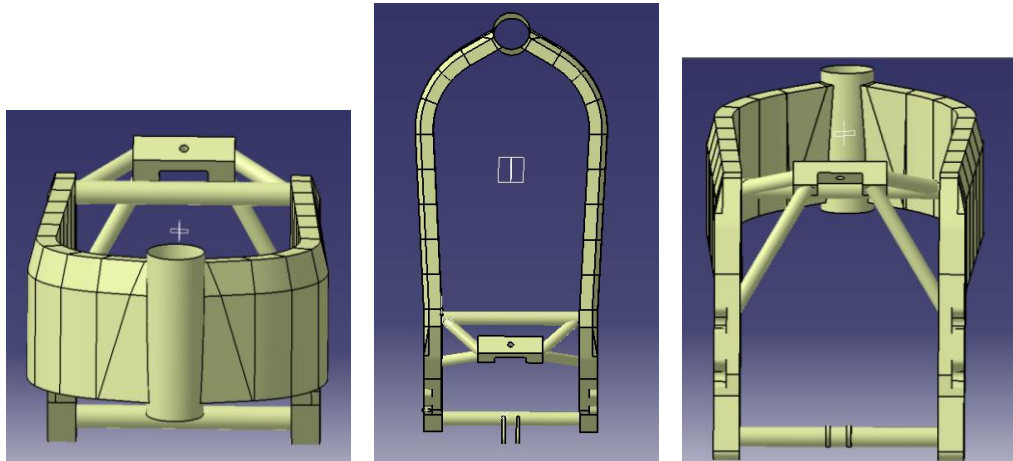


Figura 6.3-Vistas frontal, superior y trasera del chasis

Este modelo incluye las dos partes del chasis diseñadas para colocar el amortiguador trasero. Están situadas en la parte trasera del chasis, una en la zona superior de la viga cajón y la otra en la parte inferior, la cual está unida al chasis mediante un tubo, que además aporta una mayor rigidez al conjunto. La de la zona superior está unida mediante cuatro tubos a diferentes zonas del chasis para intentar que se desplace lo menos posible, ya que será la zona que más sufra las fuerzas comunicadas tanto por el amortiguador como por el basculante.

## 6.2 SELECCIÓN DE ESPESORES

A partir de esta geometría, serán estudiados los resultados debidos a las fuerzas que actúan sobre la estructura de la motocicleta cuando ésta se encuentra en momentos de máximo esfuerzo. Por un lado se tendrá en cuenta que los valores de rigidez se encuentren dentro de los valores aceptables, es decir, que las tensiones generadas por las fuerzas no provoquen deformaciones que estén por encima de los máximos. Y por otro lado, que la fatiga que sufra el chasis no haga que el material entre en la zona plástica, sino que se mantenga en la elástica.

Para una correcta elección del espesor se llevaran a cabo dos ensayos, los mismos que realizábamos a la hora de seleccionar la geometría, rigidez longitudinal y torsional, pero introduciendo fuerzas reales. Con esto se pretende que las cargas introducidas sean lo más realistas posible para poder analizar las deformaciones del chasis en condiciones de uso. Las cargas obtenidas en el Xoptima serán trasladadas desde el contacto del neumático con el suelo hasta el eje de la rueda delantera y se mantendrá fijo el eje del basculante.

### **6.2.1 CARGAS A APLICAR**

Las cargas utilizadas hasta ahora para realizar los diferentes test no eran cargas reales, sino aquellas que permitían realizar de forma óptima los análisis. Se buscaba realizar ensayos comparativos entre las diferentes geometrías, más que tener en cuenta el valor obtenido.

A la hora de seleccionar los espesores de las chapas del chasis que aporten la rigidez necesaria, el criterio de selección obliga a obtener el valor real del desplazamiento, por lo que será necesario introducir las cargas reales a las que está sometido el chasis.

Para obtener las cargas que va a soportar la motocicleta se utilizó un programa multibody que simula una vuelta en un circuito. Se introdujo el circuito de Alcañiz, lugar donde tendrá lugar la carrera y se obtuvieron las cargas sobre los neumáticos durante una vuelta. Tras analizar los resultados, se destacaron dos puntos críticos, la máxima frenada y la curva donde se produce la fuerza lateral máxima, situaciones en las que el chasis sufre mayores cargas.

Debido a la falta de datos de partida y a no tener las cargas reales a las que el chasis se verá sometido, se aplica un coeficiente de seguridad de 1,5 para evitar llegar al límite elástico.

#### **❖ Frenada máxima**

La frenada es uno de los momentos críticos de un chasis ya que se producen cargas longitudinales elevadas sobre la rueda delantera. Además la transferencia de carga hace que la reacción normal en dicha rueda sea elevada. Estas dos cargas hacen que las sollicitaciones sobre la pipa de dirección sean muy fuertes.

Los casos que se van a estudiar son aquellos en los que las cargas son máximas para poder dimensionar el chasis de la forma más realista posible. La frenada más limitante es la debida al vuelco inminente (carga vertical trasera nula). Se va a considerar movimiento rectilíneo, por lo que se despreciaran las cargas laterales. También se asume que solo se frena con la rueda delantera ya que es una frenada más exigente y las cargas que aparecerán serán mayores. Así pues la fuerza longitudinal trasera será nula.

Para este caso de frenada máxima los valores de las reacciones en el contacto entre la rueda y el suelo son las siguientes:

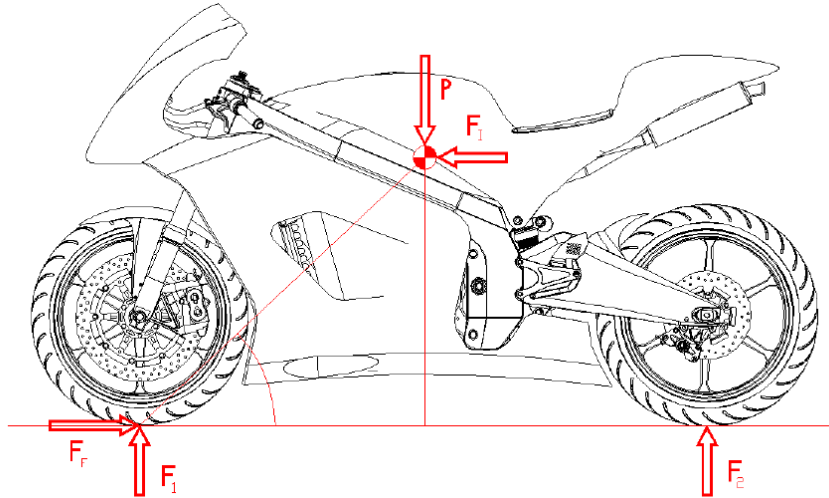


Figura 6.4-Fuerzas en frenada máxima

CASO 1	CALCULADA	MAYORADA ( $c_m=1,5$ )
F longitudinal trasera	0N	0N
F longitudinal delantera	1411,13N	2116,7N
F vertical trasera	0N	0N
F vertical delantera	1667N	2500,5N
F lateral trasera	0N	0N
F lateral delantera	0N	0N

Al trasladar la fuerza desde el punto de contacto de la rueda con el pavimento a la pipa se crean unos momentos.

$$M_1 = 556111,2 \text{ Nmm}$$

$$M_2 = 1087856,8 \text{ Nmm}$$

$$\text{Como resultante } \rightarrow M = M_1 - M_2 = -531745,6 \text{ Nmm}$$

#### ❖ Fuerza lateral máxima

Esta condición se produce a la entrada de las curvas con la motocicleta inclinada. Se realizó un estudio teórico de las cargas y se comparó con las obtenidas en el Xoptima. Se analizaron diferentes curvas con diferentes radios y velocidades hasta dar con el momento en que se produce la fuerza lateral máxima sobre la rueda delantera. En este caso la pipa de dirección está sufriendo un momento torsor elevado producido por estas cargas. Habrá que tener en cuenta que en esta situación la moto se encuentra inclinada unos 43 ° de forma que la reacción normal también ejerce un momento torsor. Los valores de las cargas serán las siguientes:

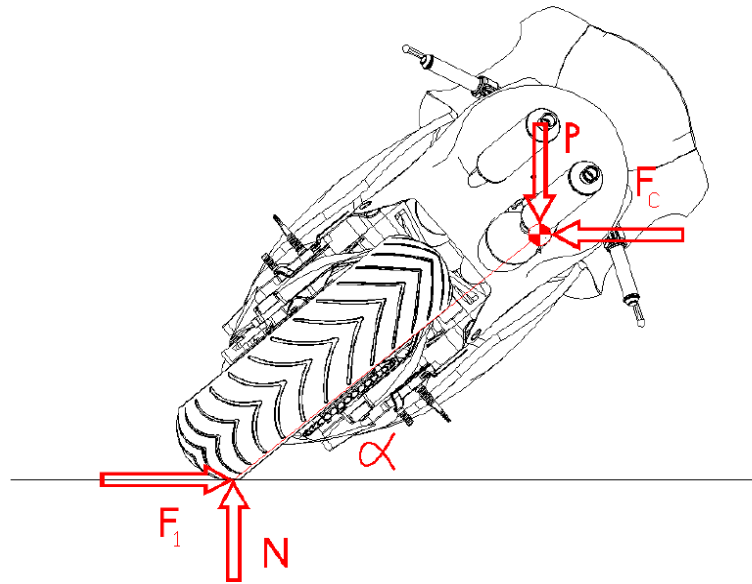


Figura 6.5-Fuerzas en el paso por curva

CASO 2 ( $\theta=0,76\text{rad}$ )	CALCULADA	MAYORADA ( $c_m=1,5$ )
F longitudinal trasera	-100,4N	-150,6N
F longitudinal delantera	-1318,5N	-1977,75N
F vertical trasera	114,8N	172,2N
F vertical delantera	1769,62N	2654,43
F lateral trasera	130N	195N
F lateral delantera	1541,1N	2311,65N

Serán realizados los dos ensayos descritos anteriormente con los valores de carga ahora expuestos. Las cargas sobre la rueda trasera serán despreciadas, ya que las fuerzas obtenidas sobre la delantera son del orden de trece veces superiores. Las delanteras serán trasladadas a la pipa y serán las introducidas en Marc.

Hay que tener en cuenta que estas cargas serán las reacciones en el punto de contacto según el sistema de referencia global de la motocicleta. Este sistema no considera la inclinación de la motocicleta que en este caso son  $43^\circ$ . Por lo tanto habrá que trasladar estas fuerzas al sistema de referencia que acompaña a la motocicleta. Al realizar la rotación del sistema nos quedarán unos momentos, a parte de las fuerzas. El traslado de estas fuerzas desde el contacto de la rueda delantera con el pavimento hasta la pipa, hace que los momentos que se deben introducir sean:

$$\text{Las fuerzas al aplicarles el giro de } 43^\circ \rightarrow F_{\text{vert giro}} = 3500,95 \text{ N}$$

$$F_{\text{lat giro}} = -364,78 \text{ N}$$

$$\text{Los momentos } \rightarrow M_1 = 3500,95 * d_1 = 778611,28 \text{ Nmm}$$

$$M_2 = F_{\text{long}} * d_2 = -1977,75 * d_2 = -1016444,83 \text{ Nmm}$$

Como resultante  $\rightarrow M = M_1 + M_2 = 1795056,11 \text{ Nmm}$

$$M_3 = F_{\text{lat giro}} * d_2 = 187475,03 \text{ Nmm}$$

## 6.2.2 RESULTADOS OBTENIDOS

Para poder analizar el comportamiento del chasis diseñado, hay que volver a mallarlo con el programa de elementos finitos y a continuación darle los espesores adecuados a cada zona. El modelo en este caso queda como en la siguiente imagen.

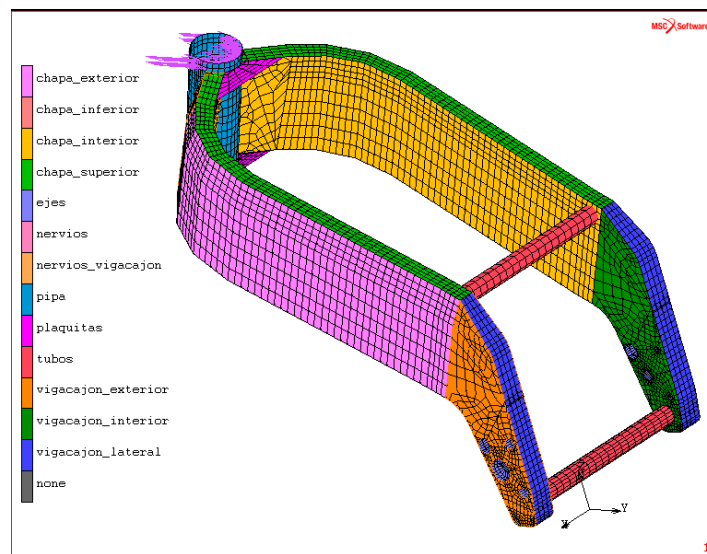


Figura 6.6-Modelo mallado en Marc

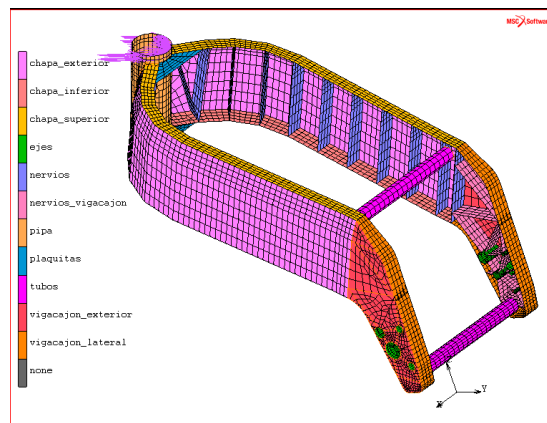


Figura 6.7-Vista de la parte interior

Cada modelo fue variándose en función de los datos obtenidos en el anterior para ver cómo se comportaba cada uno de ellos en función de los cambios introducidos. Se

buscaba disminuir las tensiones, pero a su vez ir disminuyendo el peso, por lo que si alguna zona presentaba tensiones muy bajas, se reducía el espesor. Cada zona fue dotada de un espesor diferente, por lo que a continuación se mostrarán las diferencias entre los modelos sin especificar exactamente sus espesores.

A parte de las variaciones de espesores, también se hicieron pequeños cambios en la geometría, como introducir más nervios en la zona más cercana a la pipa de dirección, en la zona de la viga cajón y se unieron las dos plaquitas situadas justo detrás de la pipa, como muestra la siguiente imagen.

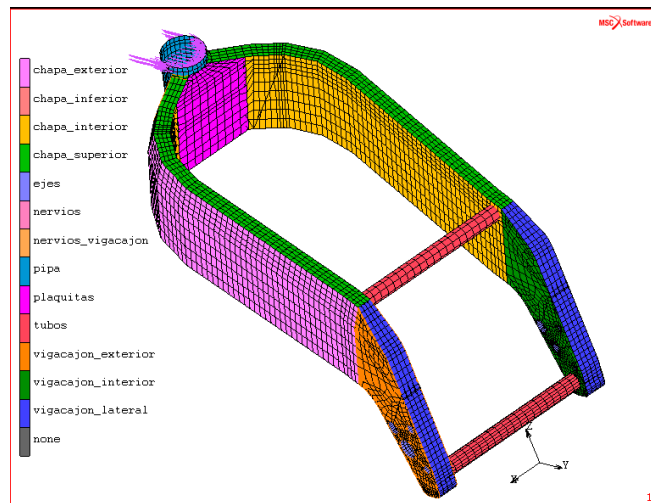


Figura 6.8-Chasis con unión de las placas delanteras

A continuación se mostrarán los resultados obtenidos de estos estudios de comportamiento del modelo. A parte de las tablas donde se muestran los datos resultantes, se incluyen unos gráficos con las tensiones obtenidas y los desplazamientos en x, y, z de ambos ensayos, ya es una forma más clara de ver qué modelos son mejores.

❖ **DATOS OBTENIDOS**

<b>LATERAL MÁXIMA</b>	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5
	(10.3 Kg)	(9.4 Kg)	(8.5 Kg)	(8.46 Kg)	(8.37 Kg)
Desplazamiento en x	0.454	0.499	0.577	0.551	0.561
Desplazamiento en y	1.300	1.249	1.308	1.260	1.293
Desplazamiento en z	1.576	1.523	1.610	1.543	1.583
Tensión Von Mises	386.362	342.302	294.047	271.757	309.571

<b>LATERAL MÁXIMA</b>	Modelo 6 (8.37 Kg)	Modelo 7 (8.85 Kg)	Modelo 8 (8.56 Kg)	Modelo 9 (8.75 Kg)
Desplazamiento en x	0.540	0.526	0.538	0.527
Desplazamiento en y	1.364	1.324	1.343	1.327
Desplazamiento en z	1.660	1.615	1.636	1.617
Tensión Von Mises	287.253	282.264	282.369	282.263

<b>FRENADA MÁXIMA</b>	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5
Desplazamiento en x	0.017	0.021	0.027	0.025	0.025
Desplazamiento en y	0.120	0.113	0.115	0.111	0.114
Desplazamiento en z	0.138	0.115	0.106	0.107	0.111
Tensión Von Mises	57.382	49.908	51.814	47.226	47.224

<b>FRENADA MÁXIMA</b>	Modelo 6	Modelo 7	Modelo 8	Modelo 9
Desplazamiento en x	0.023	0.022	0.025	0.022
Desplazamiento en y	0.110	0.105	0.111	0.105
Desplazamiento en z	0.108	0.105	0.107	0.105
Tensión Von Mises	43.249	40.650	47.385	40.699



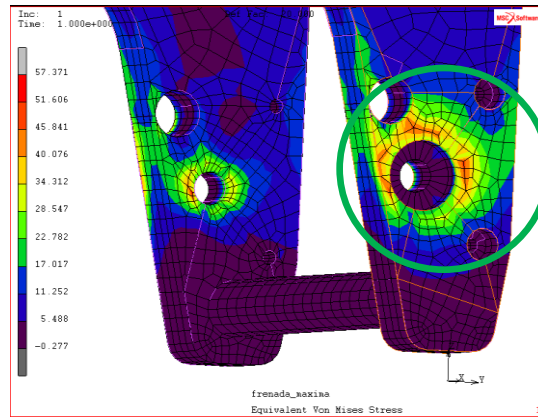
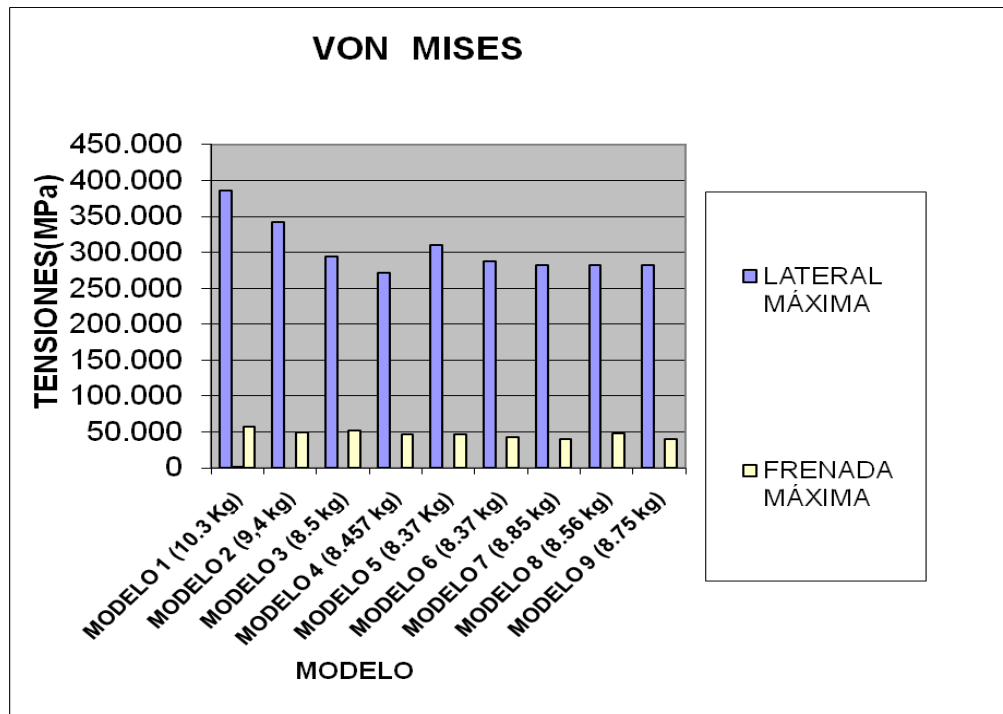


Figura 6.9-Detalle de las máximas tensiones en el chasis

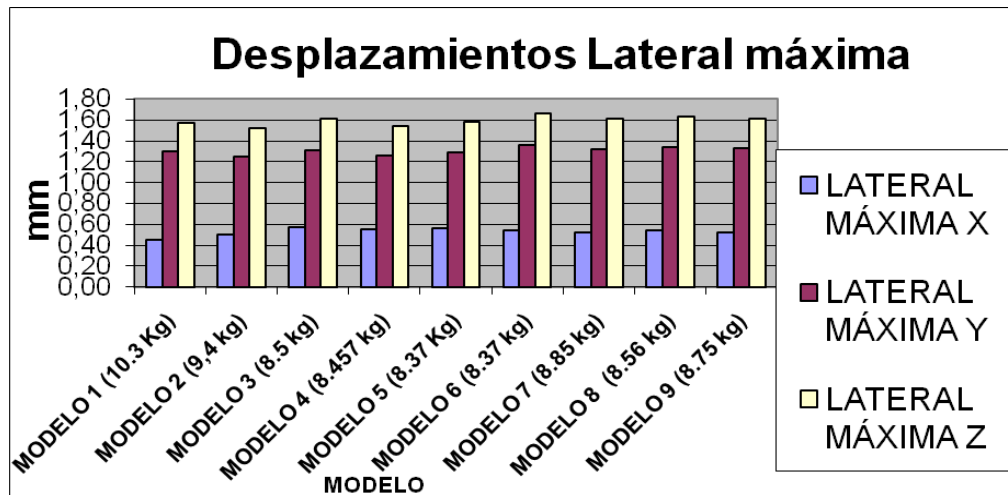
Las mayores tensiones, que se dan en el caso de la fuerza lateral máxima, se producen en todos los modelos en el mismo punto, que en gran parte es debido a que se ha anclado el eje del basculante, caso totalmente ficticio, ya que en la realidad todo el conjunto de la moto se moverá solidariamente y por lo tanto, las tensiones en estos puntos se reducirán.

❖ GRÁFICAS

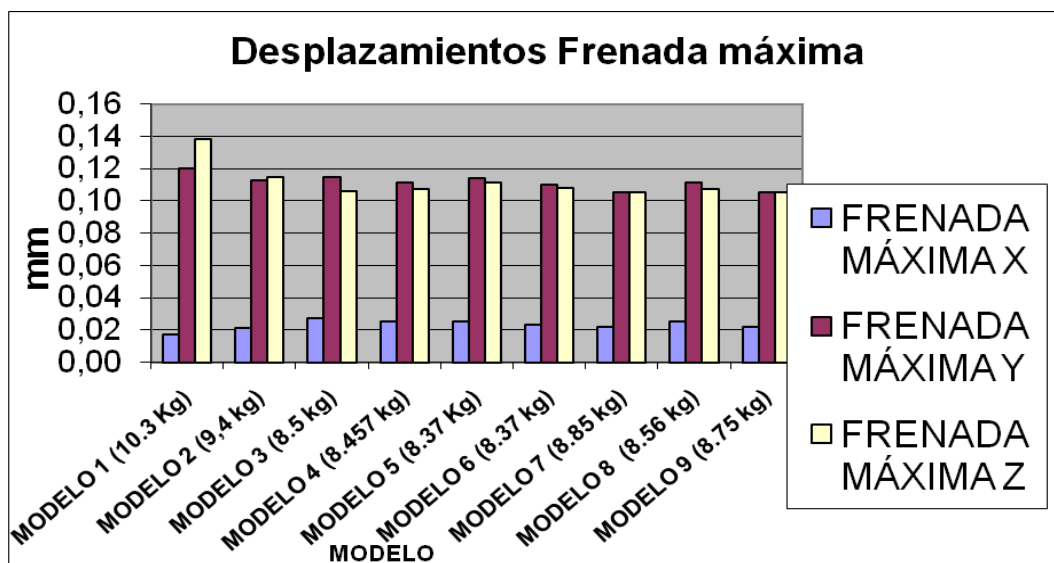
▪ Tensiones de Von Mises



▪ *Desplazamientos aplicando la fuerza lateral máxima*



▪ *Desplazamientos aplicando la frenada máxima*



Tras este primer análisis se observa que los dos mejores son el modelo 4 y el 9. Estos dos modelos cuentan con tres nervios más en la viga cajón, lo que hace que las tensiones sobre esta zona se repartan de manera más uniforme y disminuyan los valores máximos. La diferencia entre ellos es la chapa que une las dos plaquitas de la parte delantera en el modelo 9, que aunque se pensaba que disminuiría las tensiones, con su introducción en el modelo, éste no mejora.

Por lo tanto, estos dos diseños son los que mejor relación peso-tensión presentan, pero ya que el 4 pesa algo menos y la tensión de Von Mises es menor al aplicar la

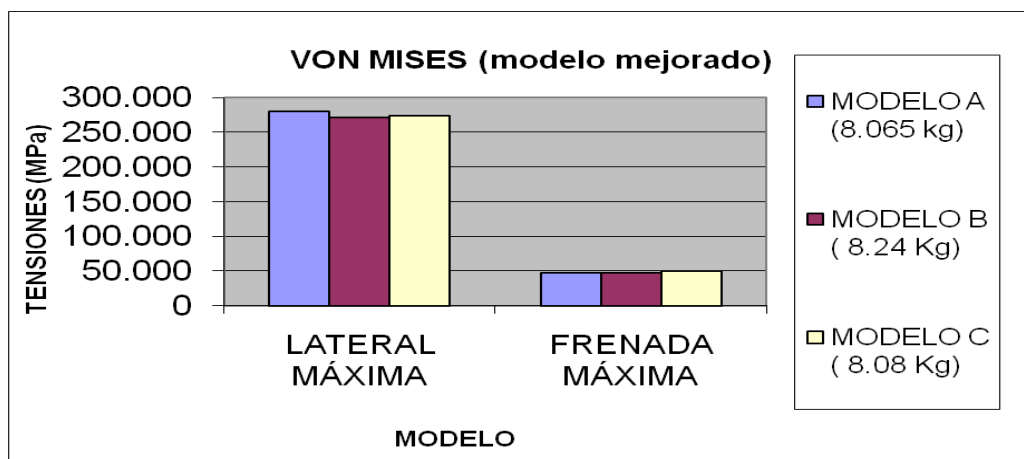
fuerza lateral máxima, que es donde se alcanzan los mayores valores, nos quedamos con este modelo.

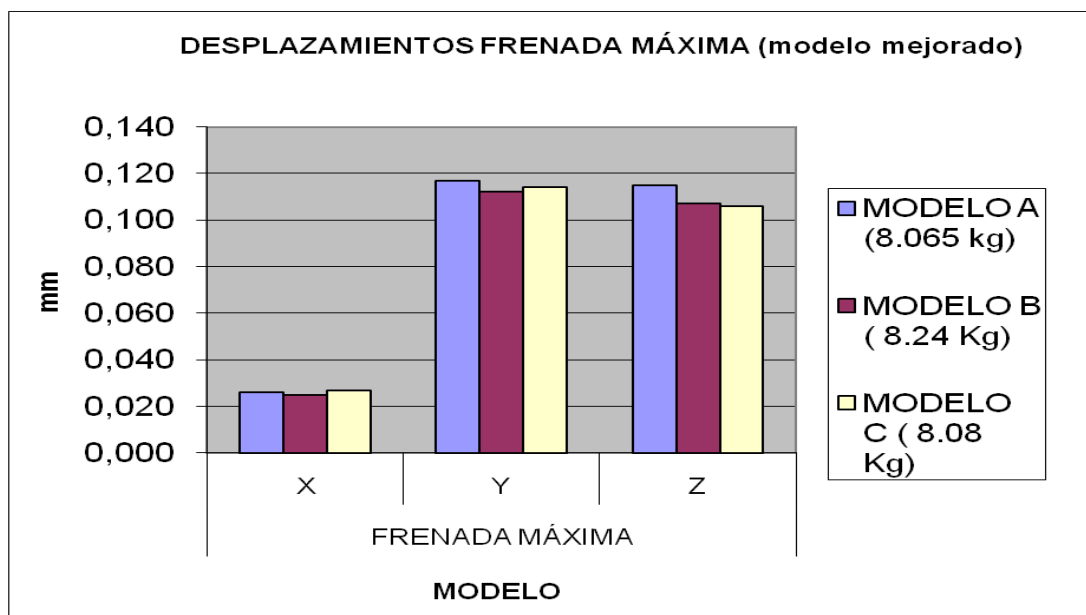
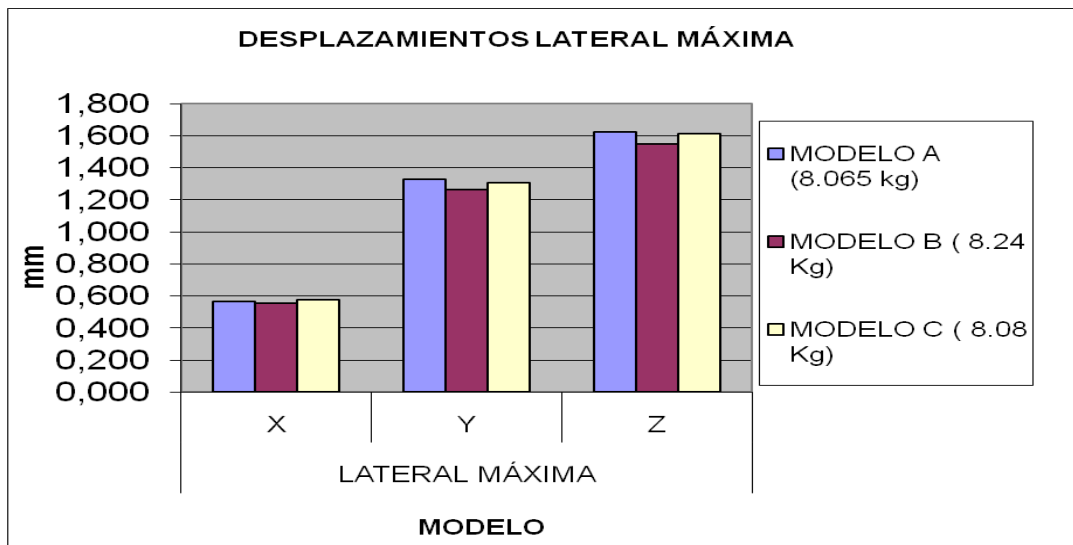
Ahora se intentará optimizar la relación peso-rigidez del modelo 4:

<b>LATERAL MÁXIMA</b>	Modelo A	Modelo B	Modelo C
	(8.065 Kg)	(8.24 Kg)	(8.08 Kg)
Desplazamiento en x	0.566	0.555	0.578
Desplazamiento en y	1.326	1.264	1.309
Desplazamiento en z	1.625	1.548	1.611
Tensión Von Mises	279.819	271.929	273.237

<b>FRENADA MÁXIMA</b>	Modelo A	Modelo B	Modelo C
Desplazamiento en x	0.026	0.025	0.027
Desplazamiento en y	0.117	0.112	0.114
Desplazamiento en z	0.115	0.107	0.106
Tensión Von Mises	47.178	47.242	50.152

A continuación se realizarán unas gráficas nuevas para ver las diferencias entre los modelos, que a estas alturas ya son muy pequeñas.





Para concluir esta elección, el modelo elegido será el B, ya que la tensión de Von Mises es la menor cuando se aplica la fuerza lateral máxima, y aunque pesa algo más que los otros dos, son necesarios esos espesores para soportar las cargas.

De esta manera, los espesores elegidos para la geometría serán especificados en una lista, los cuales se encuentran diferenciados por grupos creados para una mayor claridad. Se introduce una imagen del modelo en Marc, el cual cuenta con los sets o conjuntos en los que se han separado los elementos para poder darle a la geometría diferentes espesores.

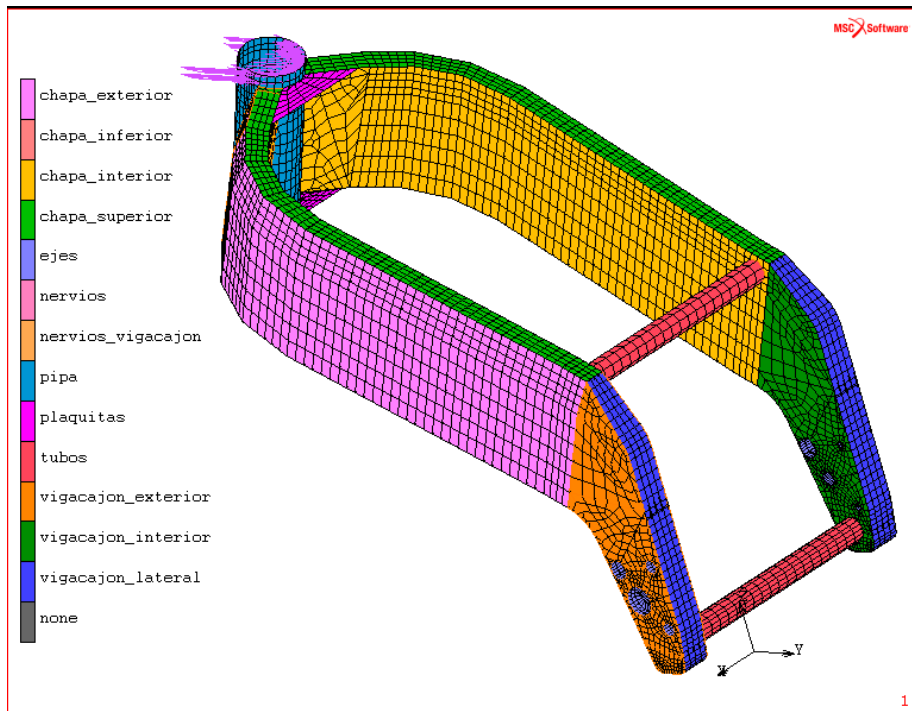


Figura 6.10-Modelo con sets

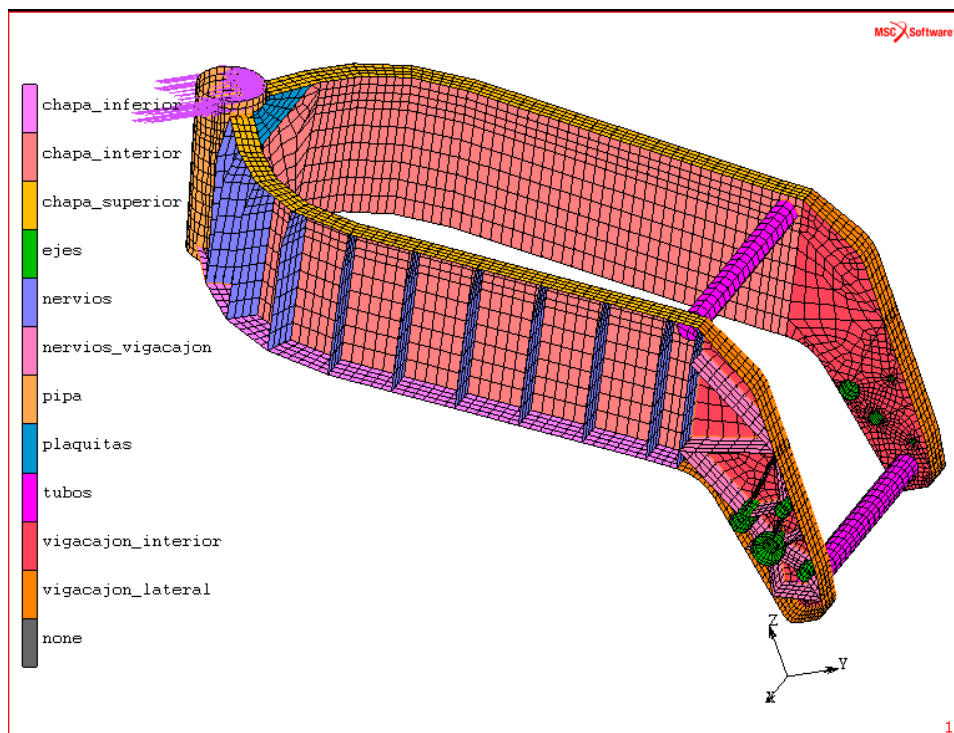


Figura 6.11-Vistas de los ejes y nervios internos

Siguiendo el modelo en Marc, los espesores serán:

- Chapa exterior e interior → 3mm
- Chapa superior e inferior → 4mm
- Nervios vigas centrales → 3 mm
- Pipa → 12mm
- Ejes → 6mm
- Nervios viga cajón → 4mm
- Chapa viga cajón exterior e interior → 7mm
- Chapa viga cajón lateral → 5mm
- Plaquitas → 6mm
- Tubos → 3mm

Con esta geometría elegida, se pasará al diseño de las partes que están todavía sin definir.

### **6.3 DISEÑO DE ANCLAJES**

La última parte del diseño del chasis es el diseño de los anclajes del motor y del amortiguador trasero. Como las cotas del amortiguador venían fijadas por el chasis diseñado en acero, esta zona se mantiene igual, excepto los puntos donde van unidos los tubos con el chasis.

#### **6.3.1 ANCLAJE DEL MOTOR**

La variedad de opciones para realizar el anclaje del motor es elevada, sin embargo, al tratarse de un chasis de doble viga, no se utilizan cunas, más por estética que por otro motivo, ya que siempre refuerzan la estructura. De manera que las opciones disminuyeron significativamente y además tuvo que ser diseñado teniendo en cuenta las dimensiones del motor, las cuales no son las más adecuadas para este tipo de chasis. Un factor importante era que no se podía realizar un anclaje prácticamente en vertical, ya que chocaba con el motor, puesto que algunas zonas sobresalen más que otras y por ello se tuvo que colocar un poco más adelantado e incluir una pequeña viga de refuerzo. La unión con el motor se realiza mediante un eje, por lo tanto esta zona tendrá que soportar los mayores esfuerzos.

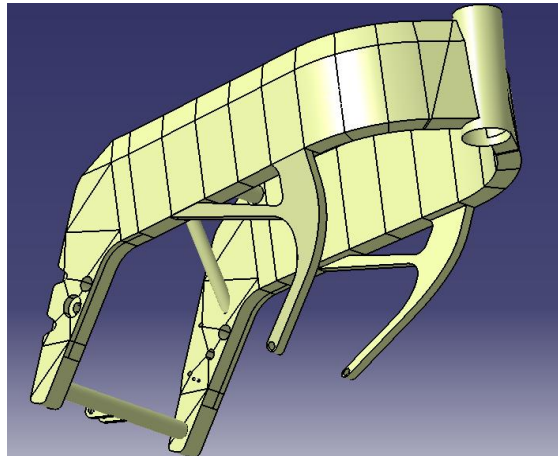


Figura 6.12-Vista general del chasis

Aunque esta zona parece muy débil, al incorporar el motor de acero, éste le da una gran rigidez, como se verá en los ensayos realizados a continuación. El diseño de esta parte fue un tanto complejo, ya que había que unir la chapa inferior del chasis con el eje del motor, los cuales se encontraban en diferentes planos. Por lo tanto no quedaba otra opción que hacerlo un poco curvado para que el cambio fuera lo menos brusco posible, ya que sino, podrían acumularse muchas tensiones en esa zona.

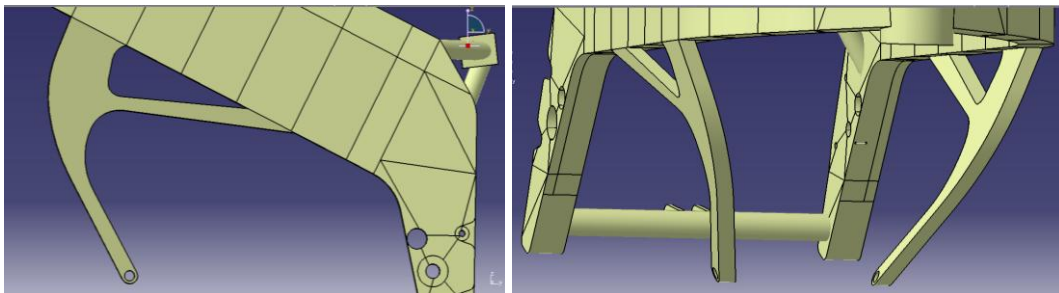


Figura 6.13-Vista lateral y frontal de la unión con el motor

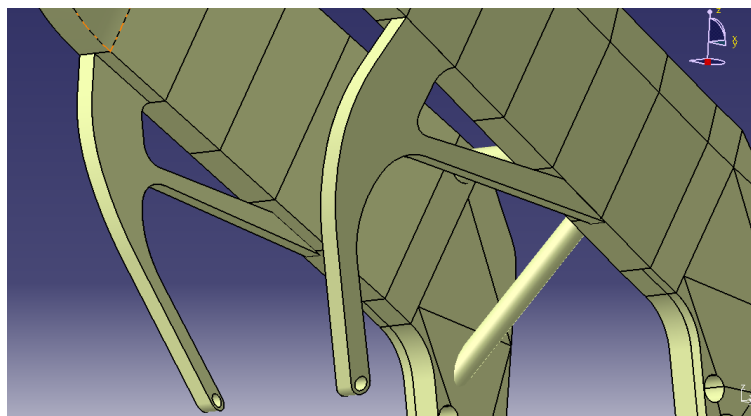
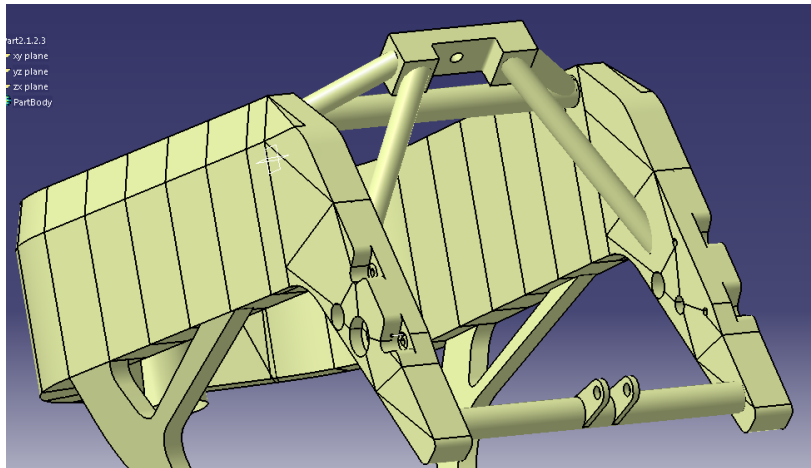


Figura 6.14-Vista lateral inclinada

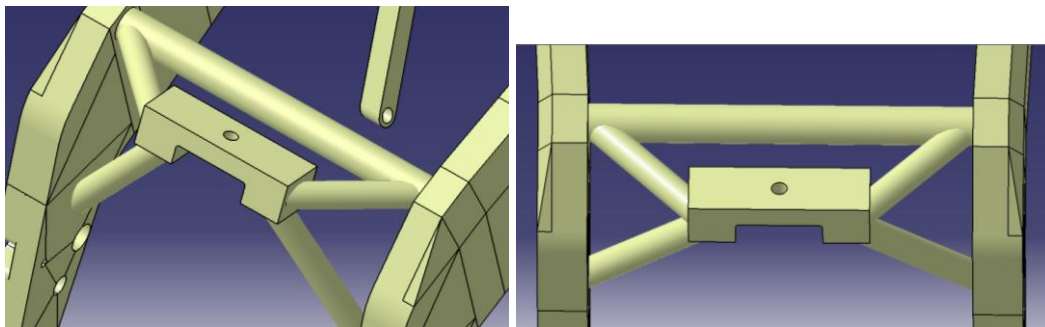
### 6.3.2 ANCLAJE DEL AMORTIGUADOR

La posición y forma de dicho anclaje ha sido estudiada en el proyecto “Diseño y calculo estructural del basculante y diseño del sistema de suspensión trasera de una motocicleta de competición”. En la imagen se muestra como quedarían las dos partes donde va sujeto el amortiguador.



*Figura 6.15-Vista de la parte trasera del chasis*

En estas dos imágenes se muestra la disposición y forma del anclaje superior, que al ir unido por cuatro tubos, soportará bien los movimientos del amortiguador.



*Figura 6.16-Anclaje superior del amortiguador*

Este anclaje deberá soportar las cargas que le transmite el amortiguador trasero. Su posición afecta al comportamiento dinámico de la motocicleta además de a la geometría de ésta. Por lo tanto se debe buscar una solución que permita variar la posición del anclaje de manera sencilla.

Una de las posibles soluciones para realizar este anclaje variable sería la de la imagen, en la cual el tornillo de la parte superior permite cambiar la posición del anclaje, ya que simplemente girándolo hacemos que el soporte intermedio suba o baje variando así la geometría de la suspensión.



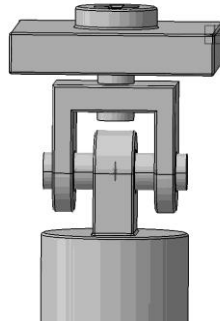


Figura 6.17-Anclaje del amortiguador trasero

En la siguiente imagen se muestra el anclaje inferior, es decir, el anclaje del tirante del sistema de bieletas del amortiguador trasero, cuya disposición dentro del chasis viene definida en el proyecto “Diseño y calculo estructural del basculante y diseño del sistema de suspensión trasera de una motocicleta de competición”.

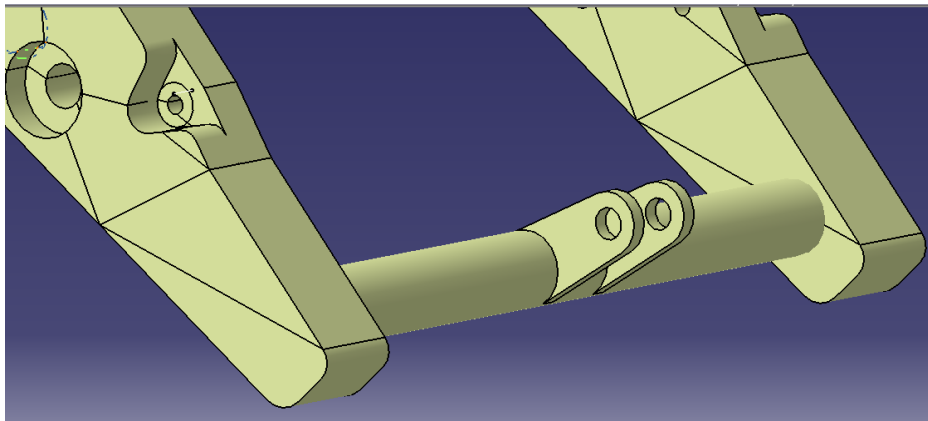


Figura 6.18-Anclaje inferior del amortiguador

Dicho anclaje deberá ser lo suficientemente rígido para soportar las cargas que le transmita el amortiguador trasero. Además deberá estar situado en una zona de fácil acceso para poder intercambiarlo de manera sencilla. Una posible solución sería:

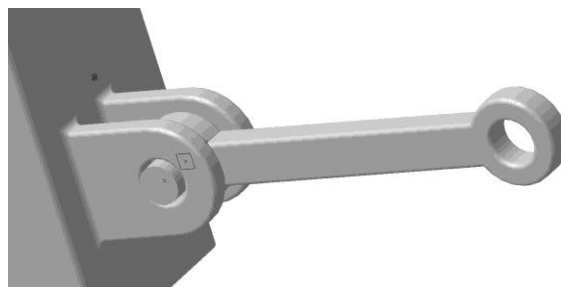


Figura 6.19-Anclaje para el tirante del sistema de bieletas

## 6.4 ANÁLISIS COMPLETO DEL MODELO

### 6.4.1 CARGAS ESTÁTICAS Y ENSAYOS

En este apartado serán estudiadas las tensiones que sufren las diferentes partes del chasis en situaciones de máximo esfuerzo. Todas las cargas irán mayoradas por un coeficiente de 1.5, lo que permitirá ver con claridad qué zonas soportan las mayores tensiones y así realizar pequeñas modificaciones sobre el diseño para tratar de evitar la aparición de tensiones excesivamente elevadas.

#### ❖ *Frenada máxima*

Esta situación es bastante común y como ya vimos anteriormente se produce cuando la transferencia de cargas provoca que toda la carga se vea soportada por la rueda delantera. La frenada máxima se produce al final de rectas largas donde se ve que la rueda trasera comienza a levantarse y es bastante común en circuito.

Las cargas que aplicaremos son las que vimos para el apartado anterior. Estas cargas se obtuvieron de manera teórica para la situación límite de vuelco y fueron mayoradas por 1,5. La mayoración es debida a que son cargas estáticas y no dinámicas.

CASO 1	CALCULADA	MAYORADA ( $c_m=1,5$ )
F longitudinal trasera	0N	0N
F longitudinal delantera	1411,13N	2116,7N
F vertical trasera	0N	0N
F vertical delantera	1667N	2500,5N
F lateral trasera	0N	0N
F lateral delantera	0N	0N

Los análisis se llevarán a cabo en el programa de elementos finitos. Anclaremos el eje del basculante y aplicaremos las cargas sobre la pipa de dirección. Estas cargas las obtenemos al trasladar las reacciones que se dan en los neumáticos a la pipa de dirección. El modelo con las uniones del motor y del amortiguador mallado en Marc pesa 9.93 kg.

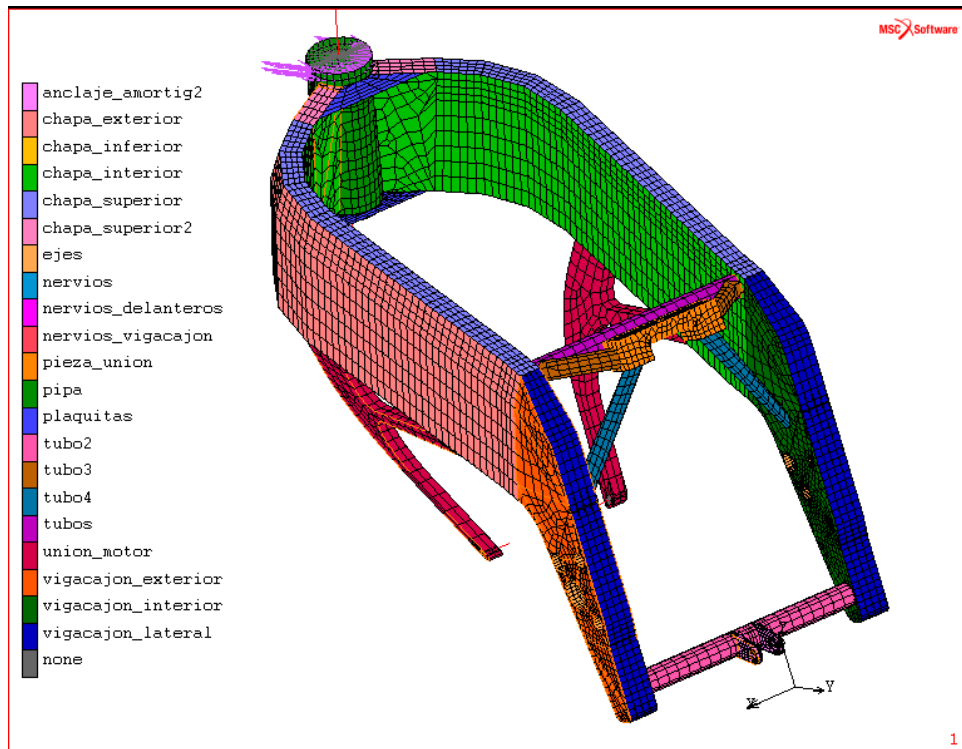


Figura 6.20-Modelo completo mallado en Marc

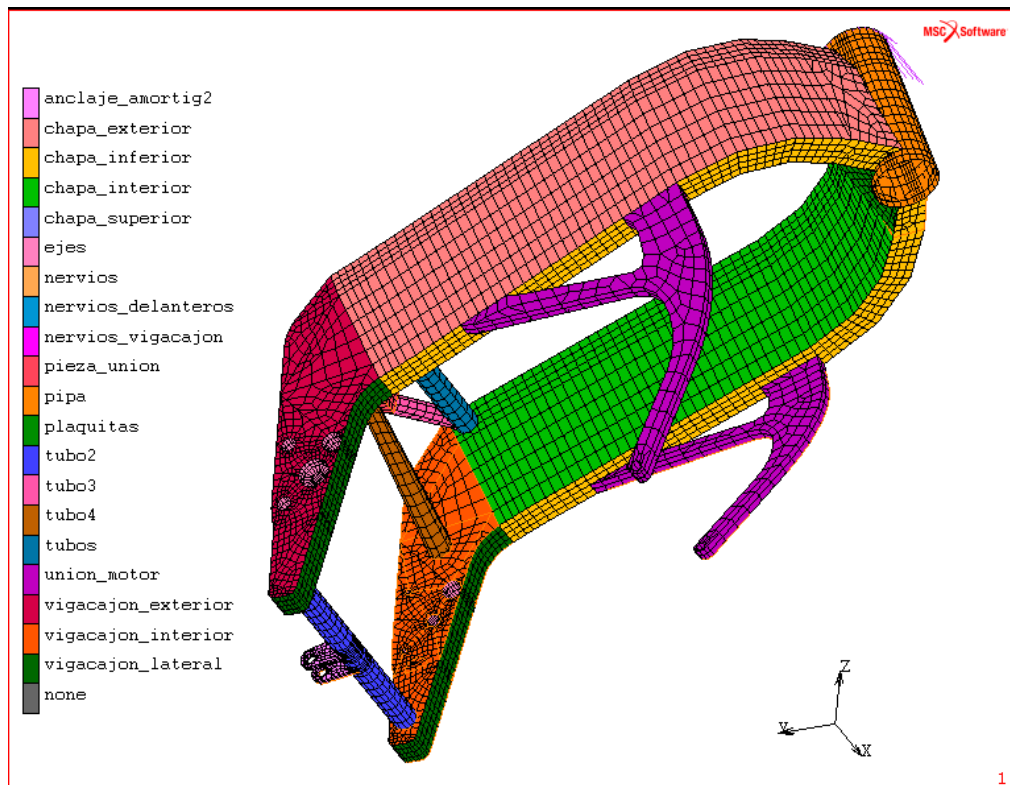
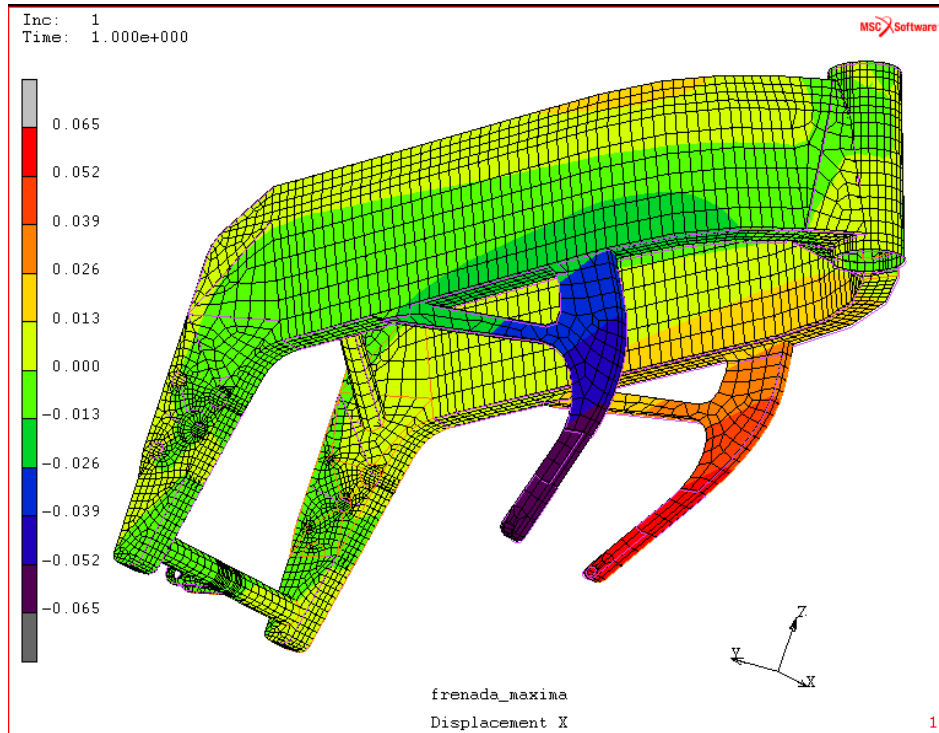


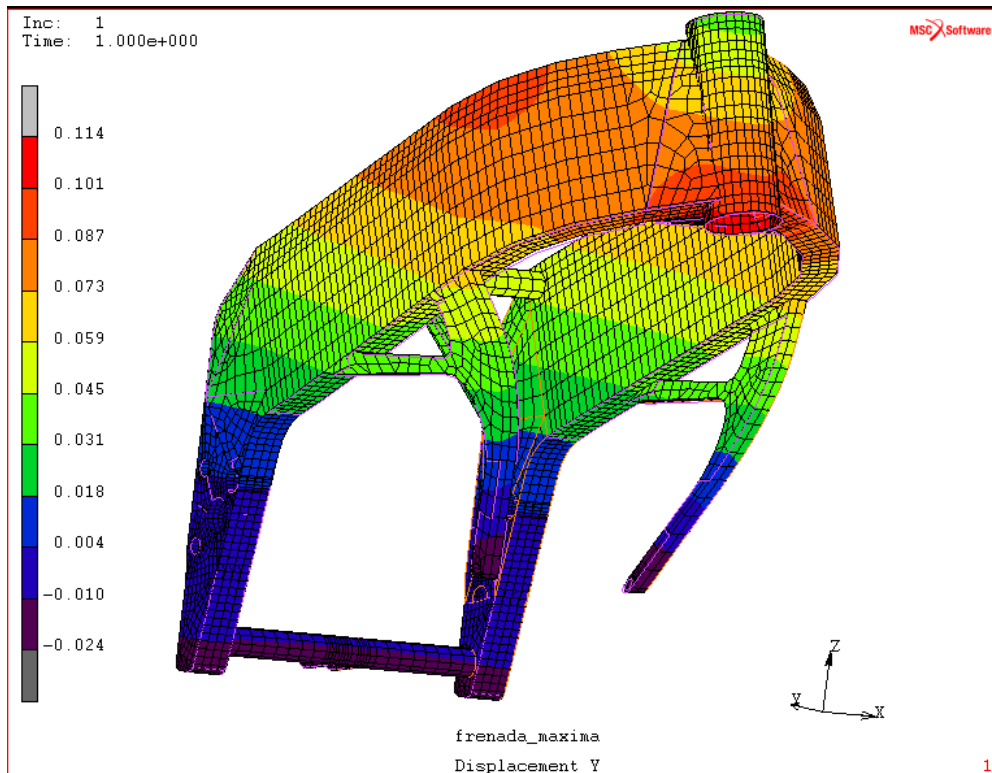
Figura 6.21-Modelo completo mallado en Marc

Los resultados obtenidos de este primer ensayo, son los siguientes.

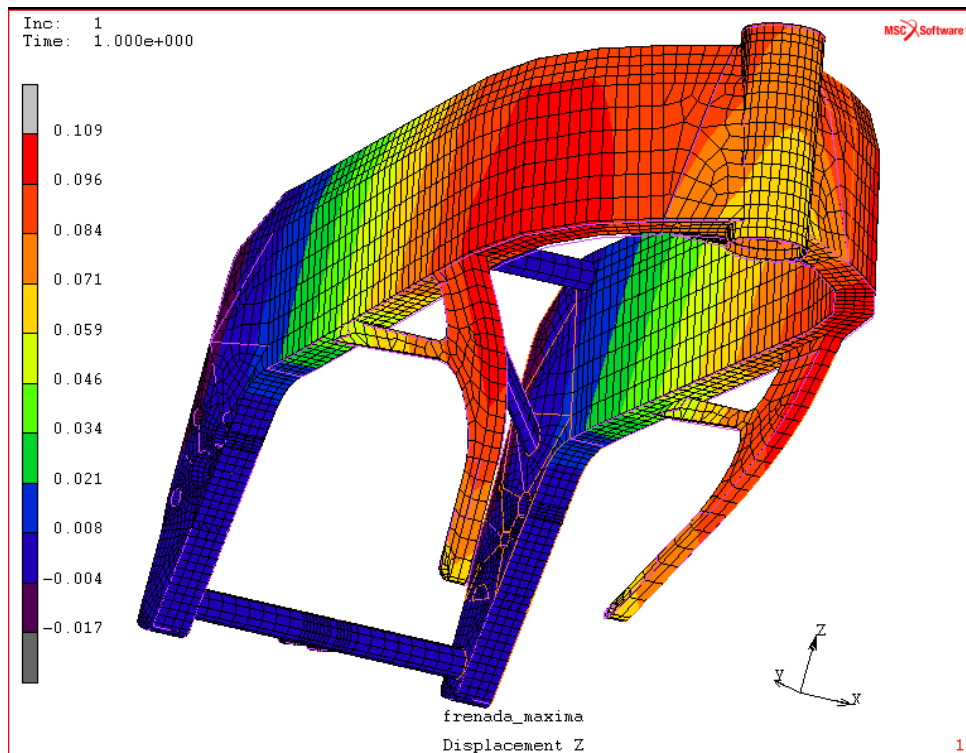
- **Desplazamiento en x**



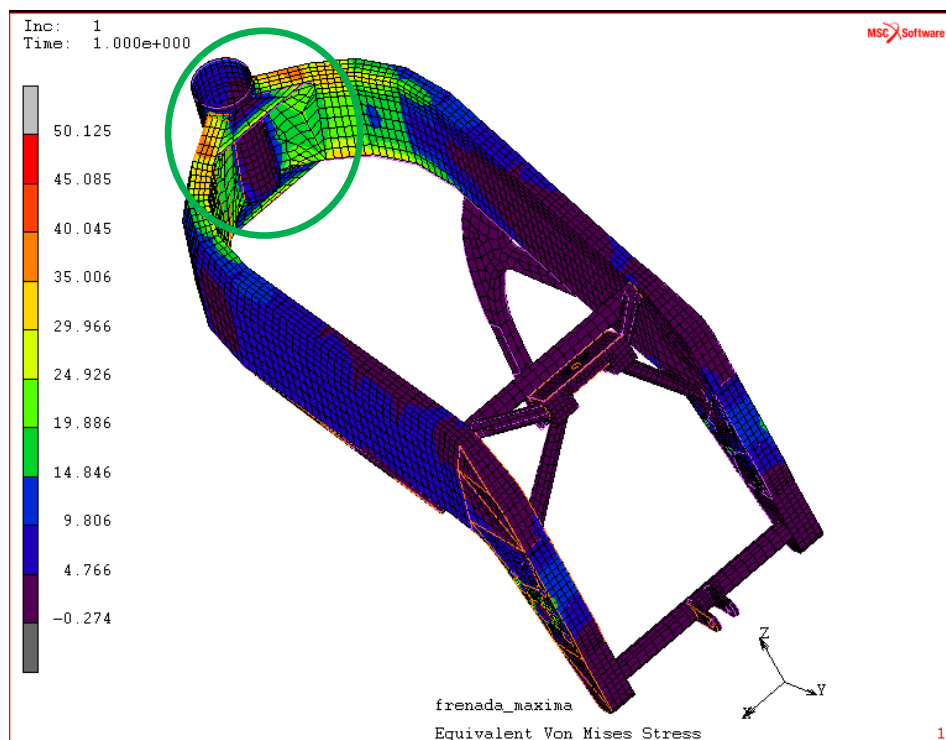
- **Desplazamiento en y**

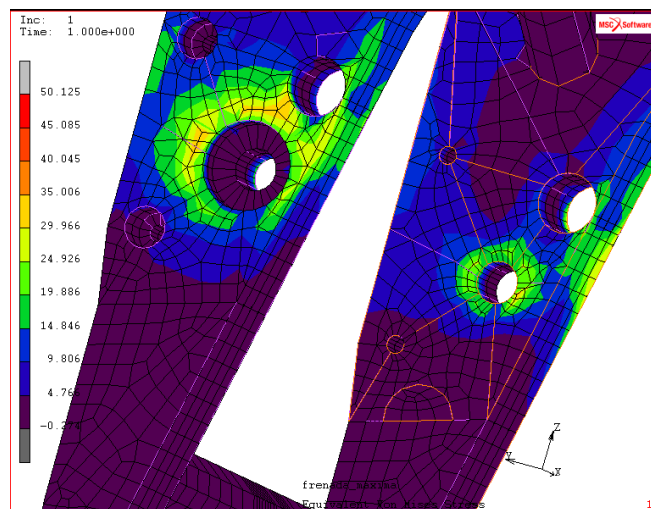
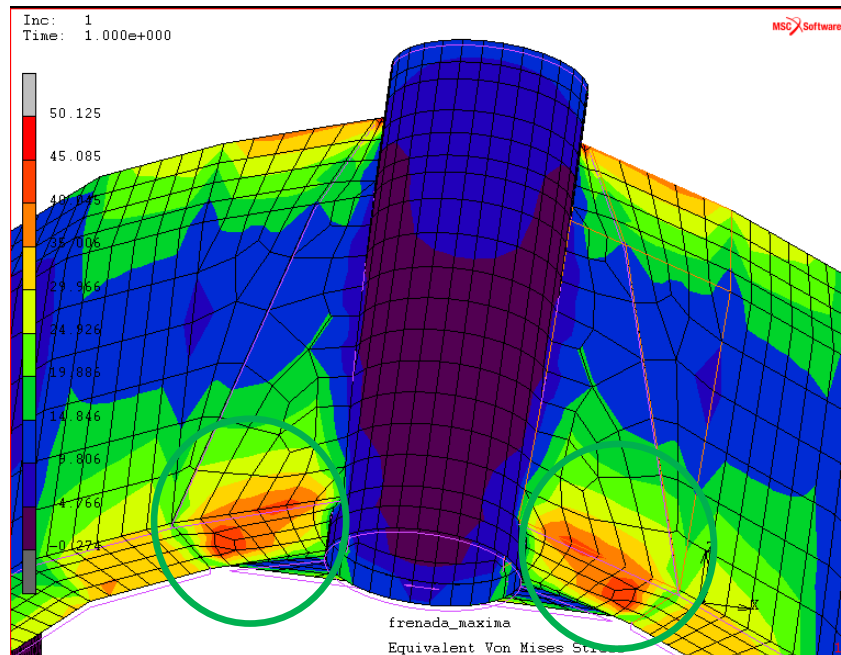


▪ *Desplazamiento en z*



▪ *Tensión de Von Mises*





	<b>FRENADA MÁXIMA</b>
<b>DESPLAZAMIENTO X</b>	0.065
<b>DESPLAZAMIENTO Y</b>	0.114
<b>DESPLAZAMIENTO Z</b>	0.109
<b>VON MISES</b>	50.125

Puede observarse que las tensiones han aumentado respecto al modelo anterior, pero las diferencias son pequeñas. En la mayor parte del chasis las tensiones no superan los 15 MPa. En la zona cercana a la pipa aumentan hasta unos 30 MPa y ya en zonas

específicas aumentan hasta los 35 MPa. Los puntos que alcanzan los 50 MPa son muy concretos.

Como conclusión de este análisis se puede decir que habrá que prestar especial atención a la chapa superior e inferior más cercanas a la pipa. Como estamos provocando una fuerza de frenada máxima, claramente son los puntos que más sufren porque en ese momento soportan las fuerzas creadas por la inercia que llevaba la moto y todo el peso recae sobre la parte delantera. Al introducir la horquilla, estos esfuerzos se verán reducidos, pero de todas maneras no es una tensión ni unos desplazamientos altos.

### ❖ *Combinación de frenada y curva*

Como comentábamos en el apartado anterior, otro de los momentos en los que se producen tensiones elevadas en la motocicleta es en frenada a la entrada de una curva con la motocicleta inclinada. En ese momento se producen reacciones elevadas en el contacto entre el neumático y la carretera tanto longitudinales como transversales. Esto hace que el chasis este sufriendo una combinación de flexión y torsión.

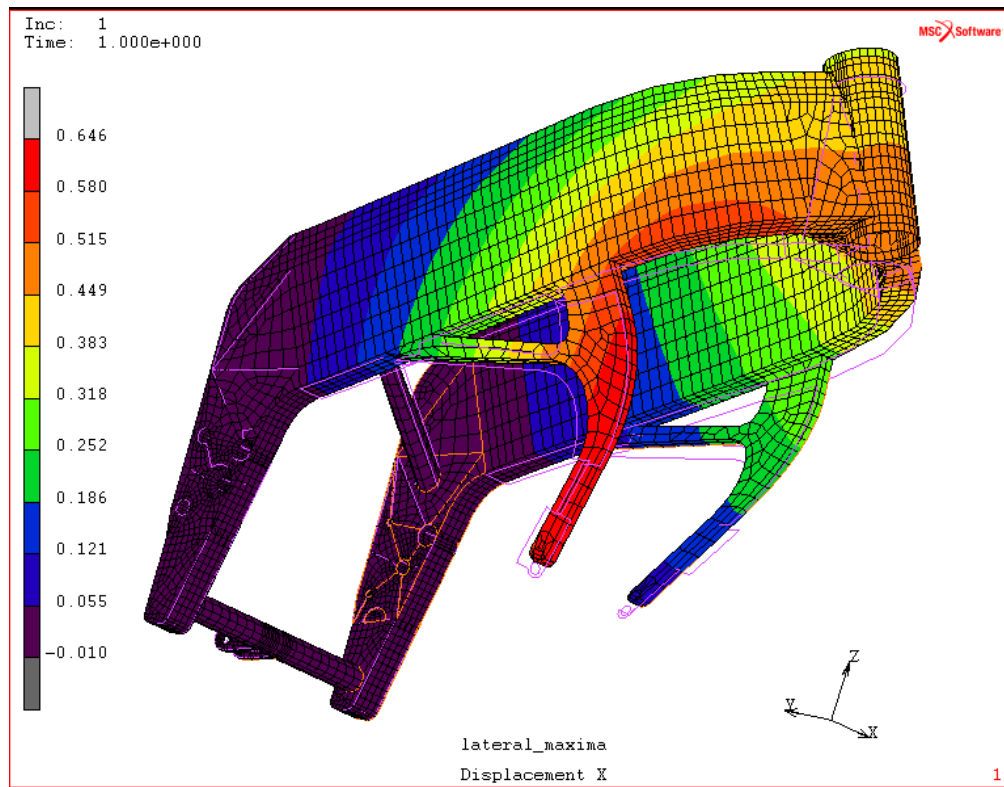
Las cargas en este caso serán las máximas obtenidas mediante el programa XOptima y serán las mismas que utilizamos en el apartado anterior.

CASO 2 ( $\theta=0,76\text{rad}$ )	CALCULADA	MAYORADA ( $c_m=1,5$ )
F longitudinal trasera	-100,4N	-150,6N
F longitudinal delantera	-1318,5N	-1977,75N
F vertical trasera	114,8N	172,2N
F vertical delantera	1769,62N	2654,43
F lateral trasera	130N	195N
F lateral delantera	1541,1N	2311,65N

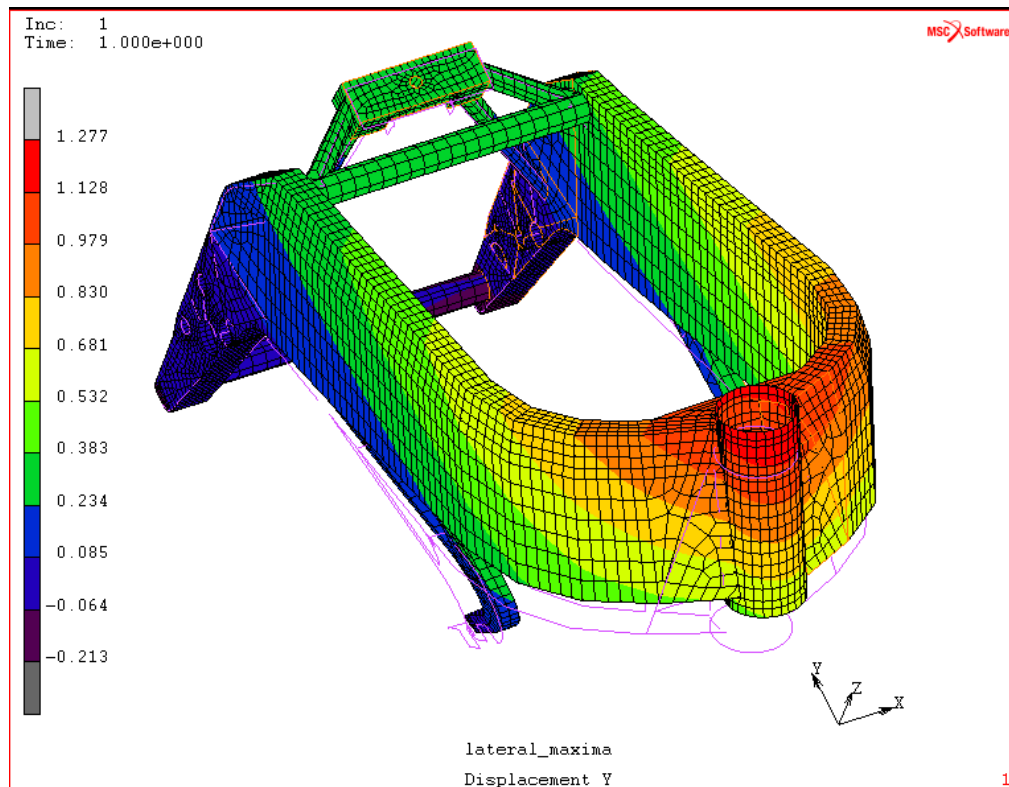
Realizaremos el mismo ensayo en MARC, empotraremos el eje del basculante igual que lo hacíamos antes y aplicaremos sobre la pipa de dirección las correspondientes cargas y momentos. En este caso nos aparecerá una carga lateral que producirá un momento de torsión sobre la pipa de dirección.

Estos son los resultados que hemos obtenido.

▪ **Desplazamiento en x**

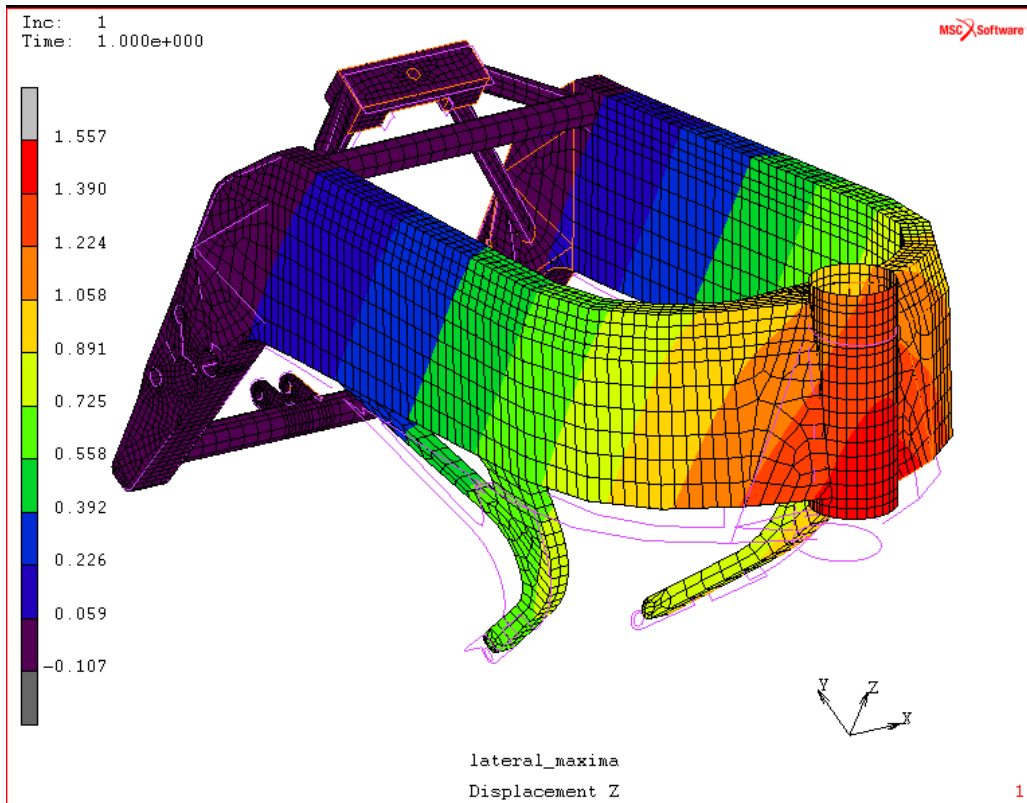


▪ **Desplazamiento en y**

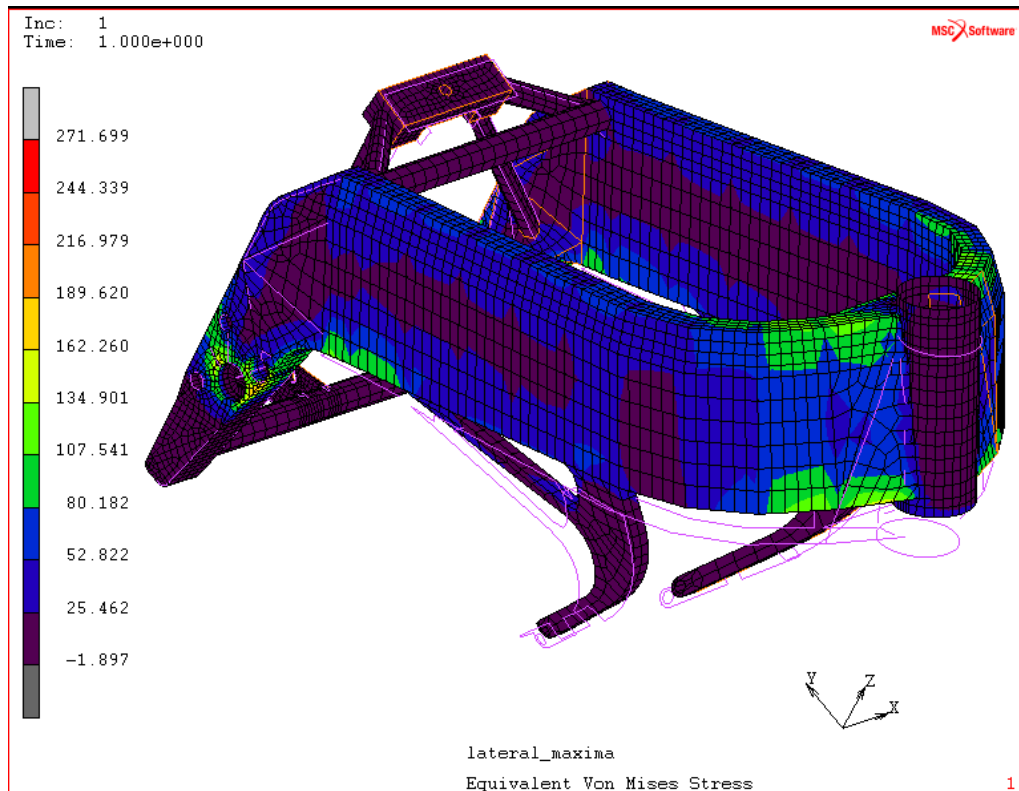


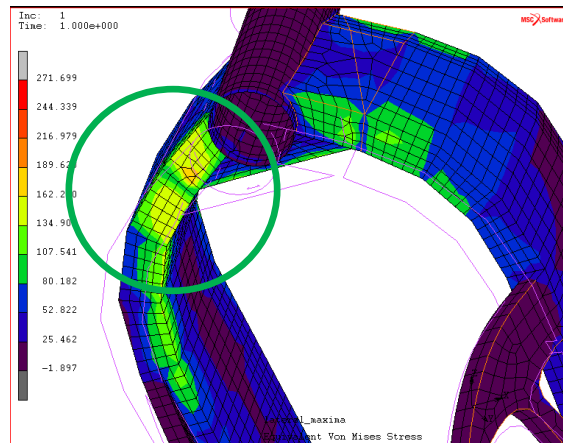
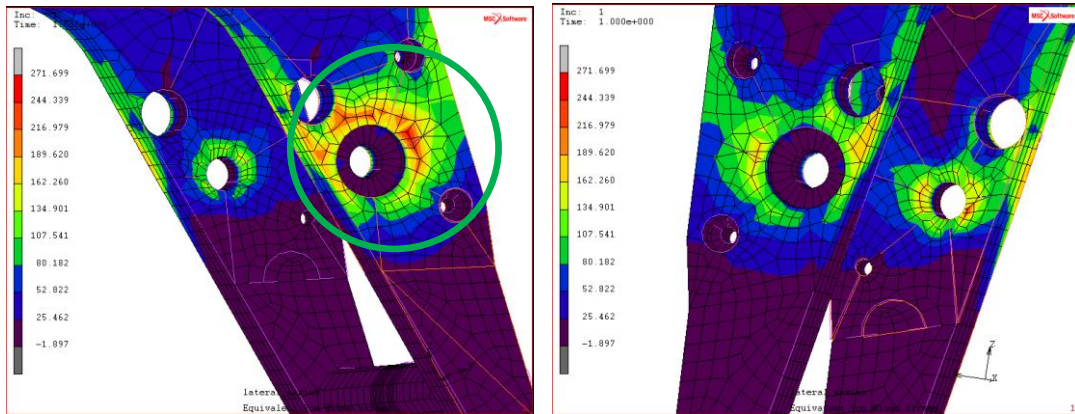


▪ *Desplazamiento en z*



▪ *Tensión de Von Mises*





	<b>FRENADA MÁXIMA</b>
<b>DESPLAZAMIENTO X</b>	0.646
<b>DESPLAZAMIENTO Y</b>	1.277
<b>DESPLAZAMIENTO Z</b>	1.557
<b>VON MISES</b>	271.699

Las tensiones máximas se dan en la zona que se ha anclado, donde está el eje que une el chasis con el basculante. En la realidad se moverá toda la motocicleta solidariamente, por lo que las tensiones serán menores. Como puede verse en las imágenes, los desplazamientos no son grandes y las tensiones tan sólo alcanzan valores elevados en estos puntos concretos.

En la mayor parte del chasis las tensiones están entre los 25, 50 y 80 MPa. En zonas de las chapas superior e inferior, y las vigas cajón se alcanzan hasta los 134 MPa. Y ya en la zona inmediata al eje del basculante, que es de donde se ha sujetado para realizar el ensayo, se alcanzan los valores máximos, de hasta unos 272 MPa.

Las tensiones que aparecerán en dichos puntos superarán el límite elástico de un aluminio convencional, así que deberá ser un aluminio con mejores características. Es cierto que la presencia del motor y la horquilla disminuirán estos valores, pero aun así seguirán siendo elevados ya que este tipo de frenadas se producen de manera frecuente y por tanto pueden provocar una rotura a fatiga temprana. Se observa como en el desplazamiento en el eje x, uno de los lados sufre más que el otro debido al sentido de las fuerzas laterales (dependientes de la curva).

❖ **Carga máxima para la compresión del amortiguador trasero**

Esta situación se produce cuando la reacción vertical sobre el neumático trasero es muy elevada y llega a comprimir por completo el amortiguador trasero. Las cargas necesarias para comprimir completamente el amortiguador trasero dependen tanto de la rigidez de éste como de su disposición dentro de la motocicleta. En nuestro caso vamos a utilizar un sistema de bieletas que hace que obtengamos una rigidez variable del conjunto para las diferentes posiciones del neumático. La disposición de estos elementos es:

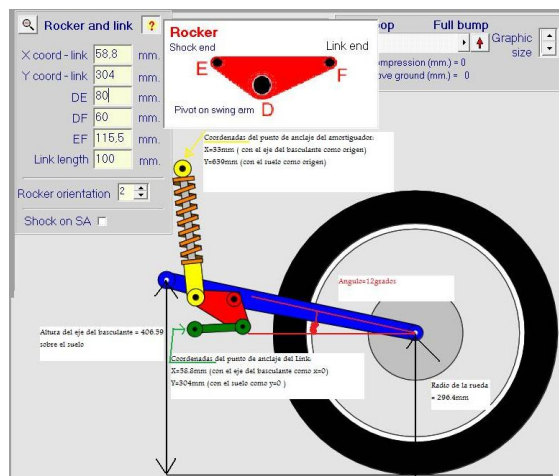


Figura 6.22-Configuración geométrica amortiguador

Por lo tanto las cargas necesarias para comprimir completamente el amortiguador son las siguientes.

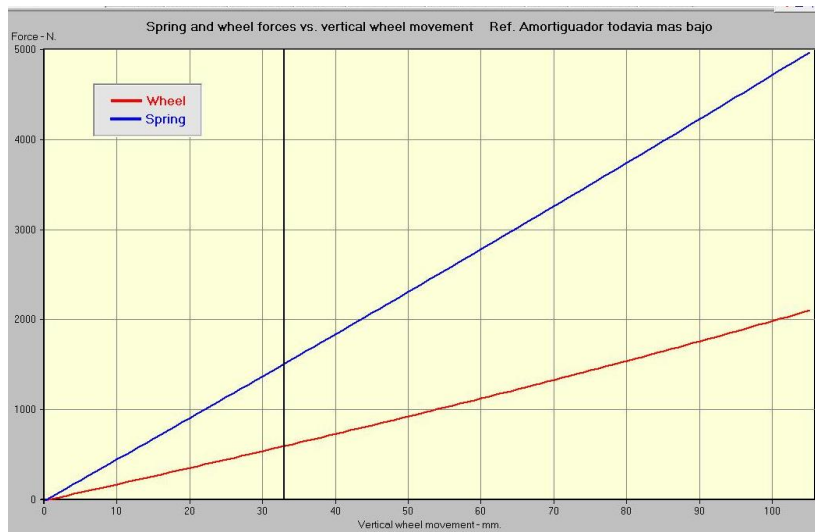


Figura 6.23-Fuerza vertical / Desplazamiento del neumático

En este gráfico podemos observar como es necesario aplicar una carga normal de algo más de 2000 N para llegar a comprimir completamente el amortiguador trasero. En este punto de máxima compresión se produce una carga de compresión de alrededor de 5000 N sobre al amortiguador.

Las cargas sobre el eje del basculante serán las siguientes.



Figura 6.24-Cargas sobre el eje del basculante frente a desplazamiento.

Podemos ver como las cargas del eje del basculante son elevadas teniendo valores de unos -4000 N verticales y -5000 N longitudinales.

En esta situación es necesario conocer cuál es esa carga sobre nuestro tirante del chasis, ya que será de valor elevado.

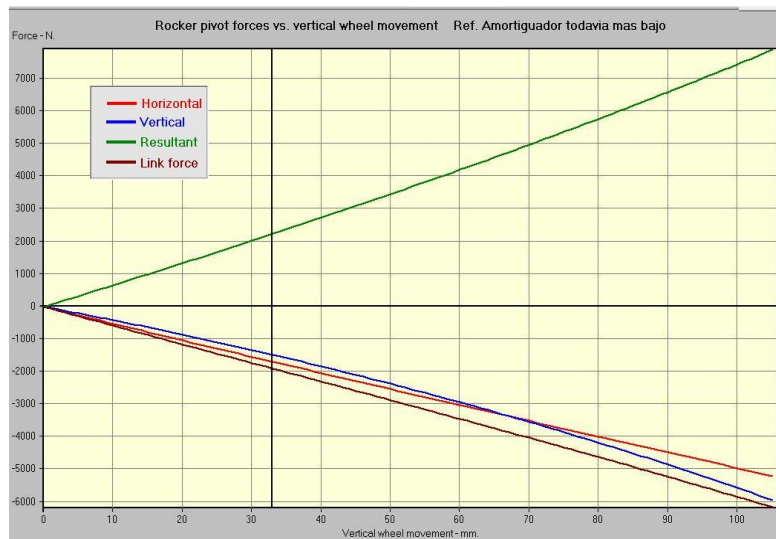
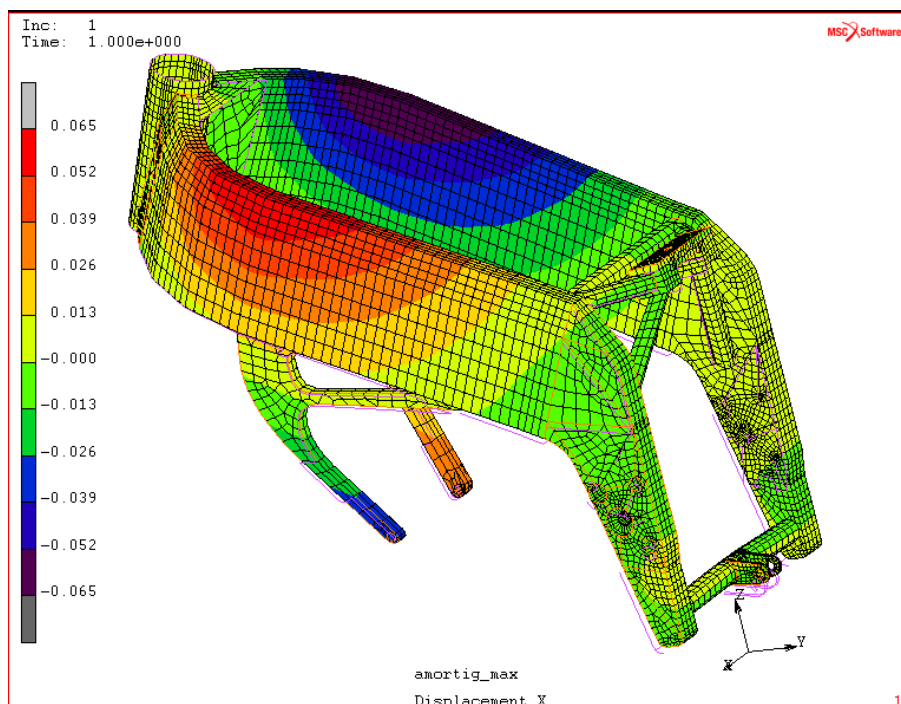


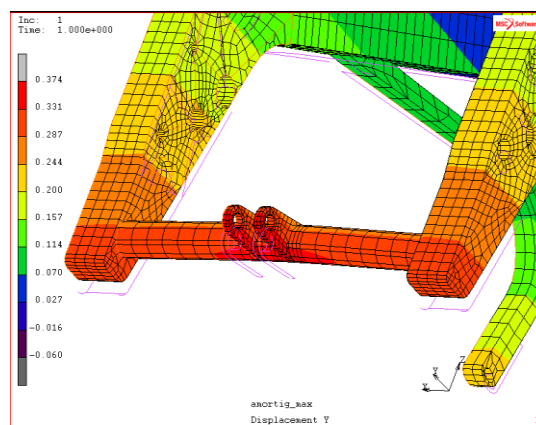
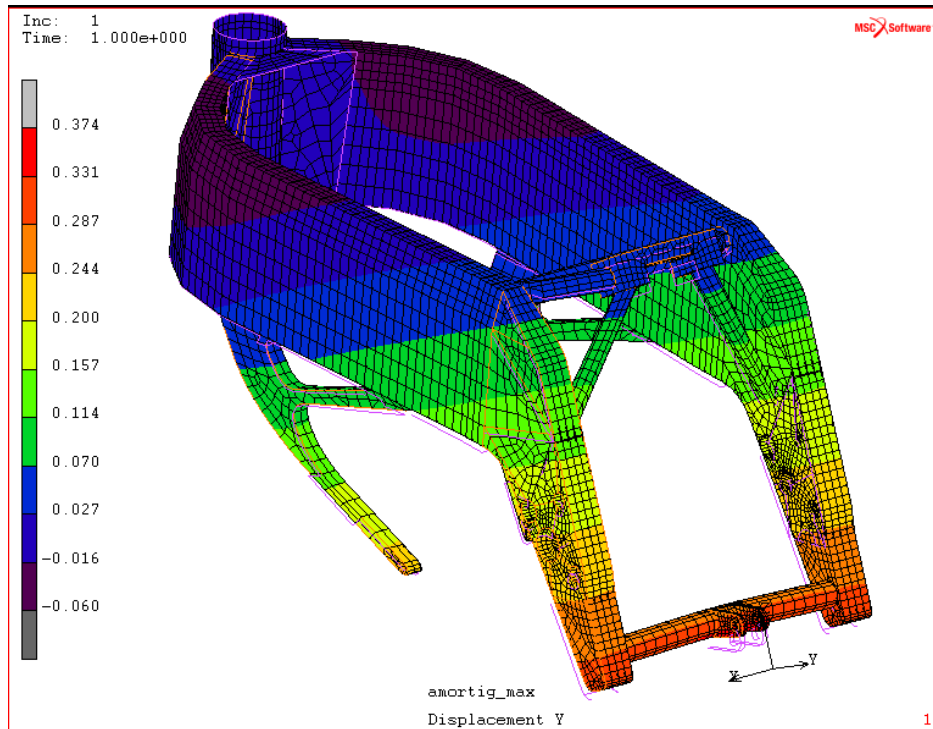
Figura 6.25-Fuerza / Desplazamiento vertical del neumático

Podemos observar en este gráfico como la fuerza sobre el tirante será de unos 6000 N. Cabe destacar que en este análisis las cargas que aplicamos son aquellas que producen una compresión completa del amortiguador. Para ello es necesario aplicar una carga normal de 2000 N, la cual es bastante más elevada que cualquiera que hayamos obtenido mediante el XOptima. Realizaremos el ensayo utilizando Marc y para ello empotraremos la parte interna de la pipa de dirección y aplicaremos las cargas en el eje del basculante y en los anclajes del amortiguador y tirantes. Los resultados obtenidos fueron los siguientes.

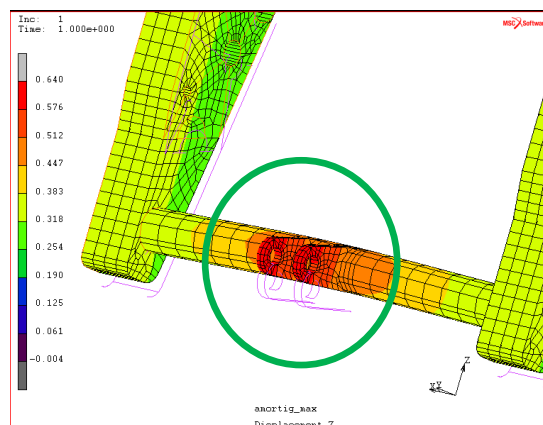
- **Desplazamiento en x**

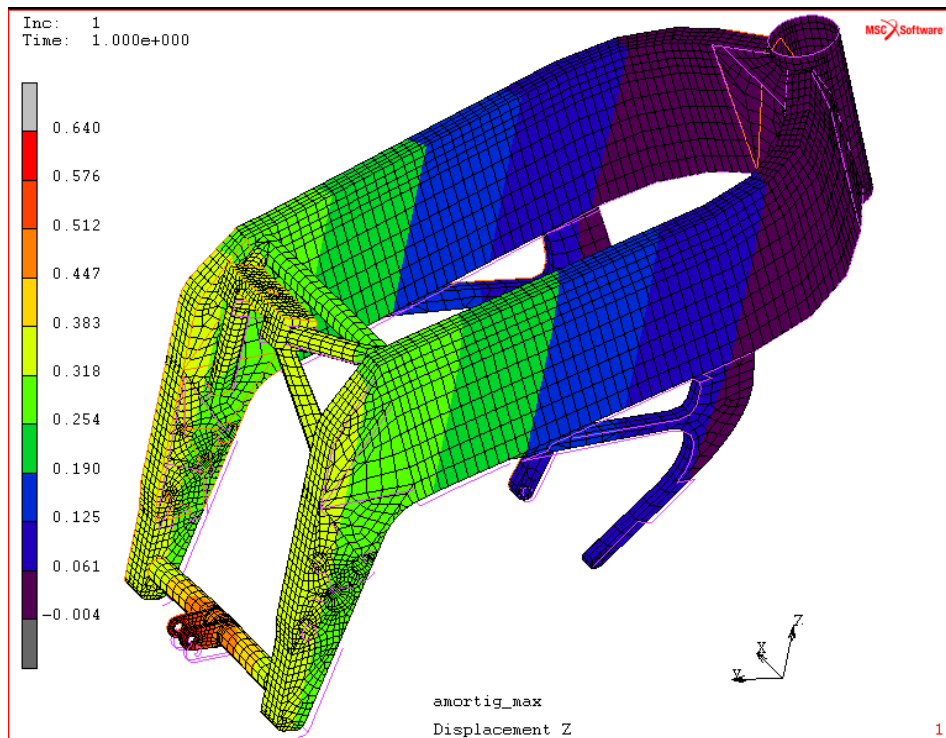


▪ **Desplazamiento en y**

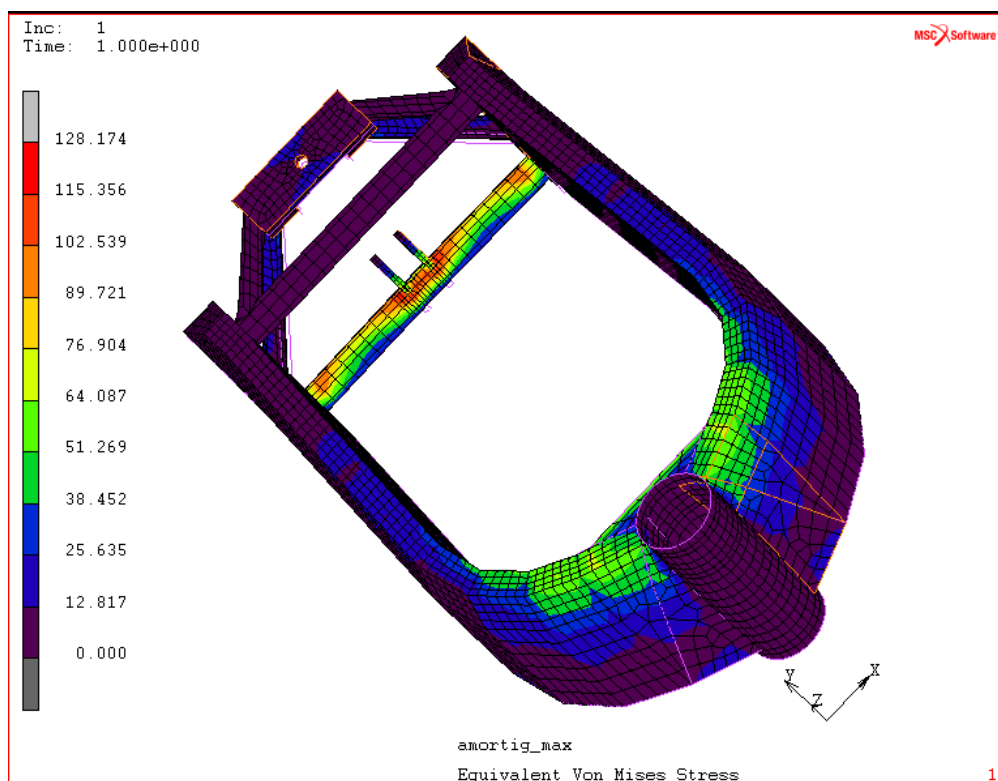


▪ **Desplazamiento en z**

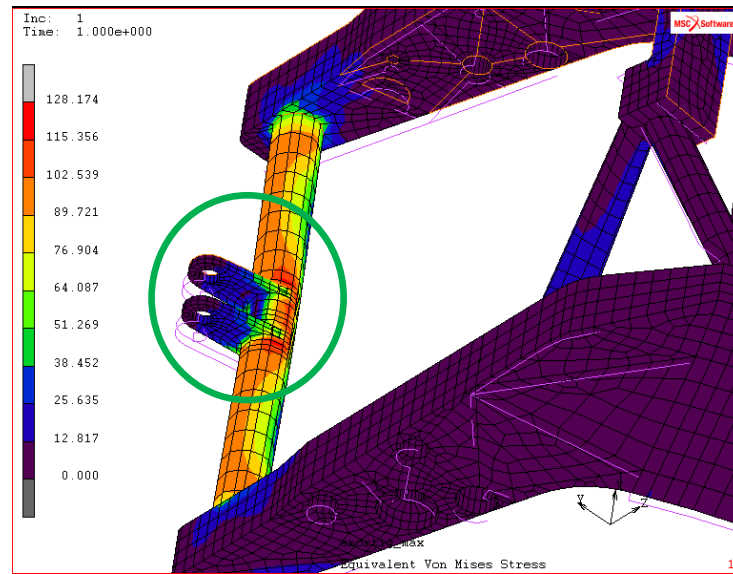




▪ *Tensión de Von Mises*



Este ensayo es la primera vez que se realiza, por lo que no hay datos comparativos, pero la tensión máxima obtenida es inferior a la resultante de la fuerza lateral máxima. Las tensiones en la mayor parte del chasis son muy bajas, entre 12 y 38 MPa. Hay una zona en la parte inferior de la pipa que alcanza los 60 MPa y en la zona de la unión inferior con el amortiguador es donde las tensiones alcanzan los mayores valores, de hasta 128 MPa.



	<b>COMPRESIÓN MÁXIMA AMORTIGUADOR TRASERO</b>
<b>DESPLAZAMIENTO X</b>	0.065
<b>DESPLAZAMIENTO Y</b>	0.374
<b>DESPLAZAMIENTO Z</b>	0.640
<b>VON MISES</b>	128.174

Para encontrar los valores más adecuados se realizarán algunos ensayos más, variando los espesores, para intentar reducir las tensiones y el peso.



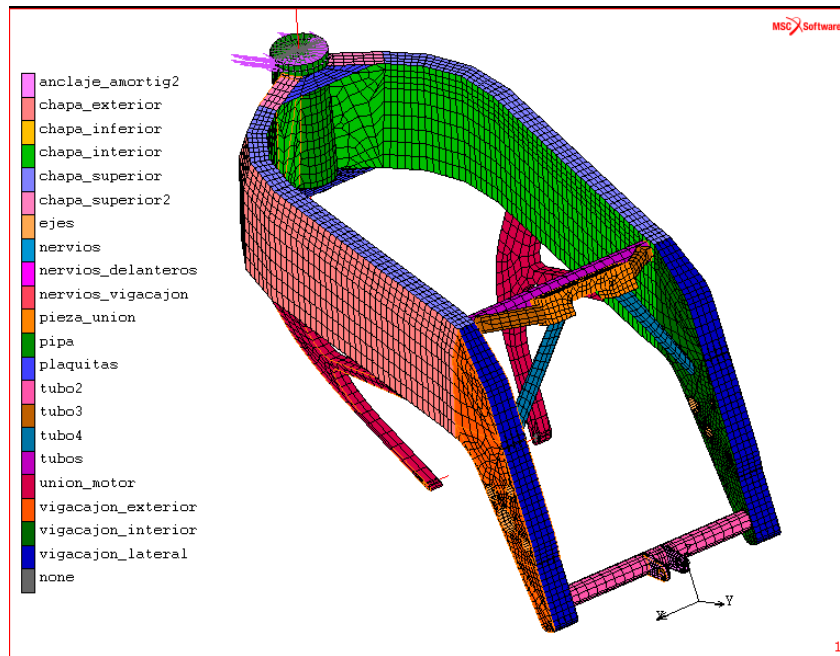
<b>LATERAL MÁXIMA</b>	Modelo A	Modelo B	Modelo C
	(9.93 Kg)	(9.78 Kg)	(9.16 Kg)
Desplazamiento en x	0.646	0.647	0.659
Desplazamiento en y	1.277	1.278	1.286
Desplazamiento en z	1.557	1.558	1.571
Tensión Von Mises	271.699	271.837	272.391

<b>FRENADA MÁXIMA</b>	Modelo A	Modelo B	Modelo C
Desplazamiento en x	0.065	0.065	0.067
Desplazamiento en y	0.114	0.114	0.117
Desplazamiento en z	0.109	0.109	0.109
Tensión Von Mises	50.125	50.128	52.034

<b>MÁXIMA COMPRESIÓN</b>			
<b>AMORTIGUADOR</b>	Modelo A	Modelo B	Modelo C
Desplazamiento en x	0.065	0.065	0.065
Desplazamiento en y	0.374	0.358	0.359
Desplazamiento en z	0.640	0.576	0.577
Tensión Von Mises	128.174	97.788	97.787

El resto de modelos estudiados no mejoraban los resultados, por lo que éstos son los más significativos. Se puede ver que las diferencias entre ellos son mínimas, así que nos quedaremos con el modelo C, que es el que menor peso tiene. En este caso la diferencia de peso es la que hace elegir el modelo, ya que las diferencias entre las tensiones no son significativas, exceptuando en la máxima compresión del amortiguador, que se ha conseguido reducir de 128 a 97 MPa.

Los espesores en este caso varían muy poco respecto al anterior, lo único que se ha dividido el chasis en más sets para poder tener una mayor variedad de espesores y así reducir el peso en las zonas que no sean necesarios. Por lo tanto, quedarán de la siguiente forma:



- Chapa exterior, interior, superior e inferior → 3mm
- Chapa superior 2 → 5mm
- Nervios vigas centrales → 3 mm
- Nervios delanteros → 4 mm
- Pipa → 12mm
- Ejes → 6mm
- Nervios viga cajón → 4mm
- Chapa viga cajón exterior e interior → 7mm
- Chapa viga cajón lateral → 5mm
- Plaquitas → 6mm
- Tubo 3 y 4 → 2mm
- Tubos → 3mm
- Tubo 2 → 4 mm

- Unión motor → 3 mm
- Pieza unión → 3mm
- Anclaje amortiguador 2 → 5 mm

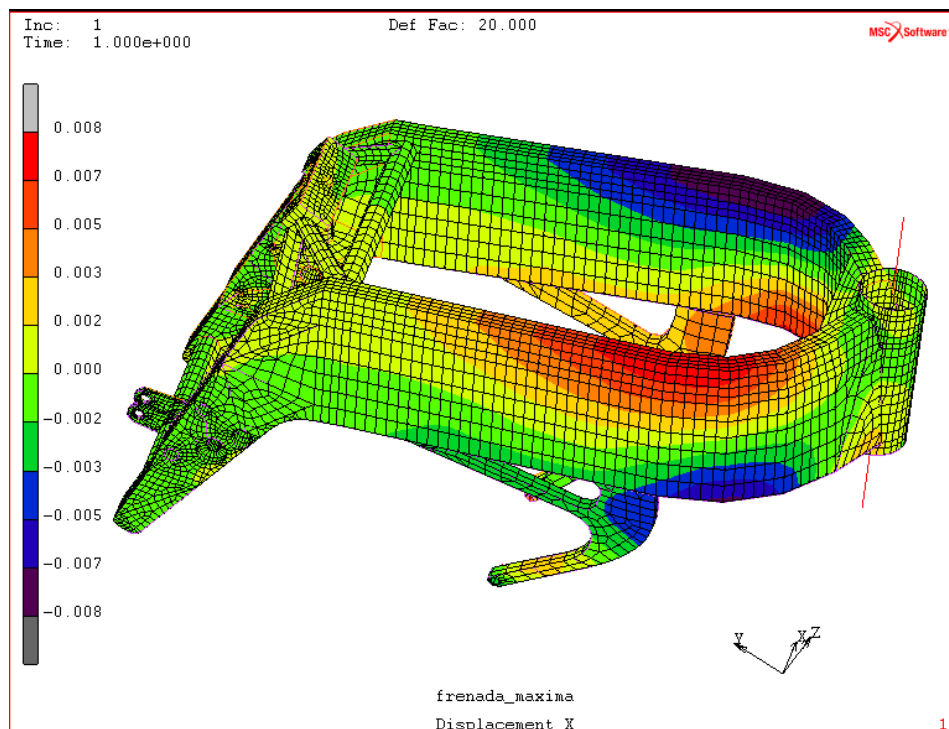
#### 6.4.2 ENSAYOS EN EL CHASIS FINAL

Una vez escogidos los espesores con los que se consiguen los mejores resultados, realizamos los mismos ensayos introduciendo el motor y la horquilla. Para simular estas dos partes del chasis en Marc, se introduce su peso y su rigidez mediante muelles, lo que permite tener una idea más clara de la influencia de estos elementos sobre el bastidor. Estos muelles van unidos al chasis mediante elementos viga de 1 mm de diámetro para interferir lo menos posible en el modelo.

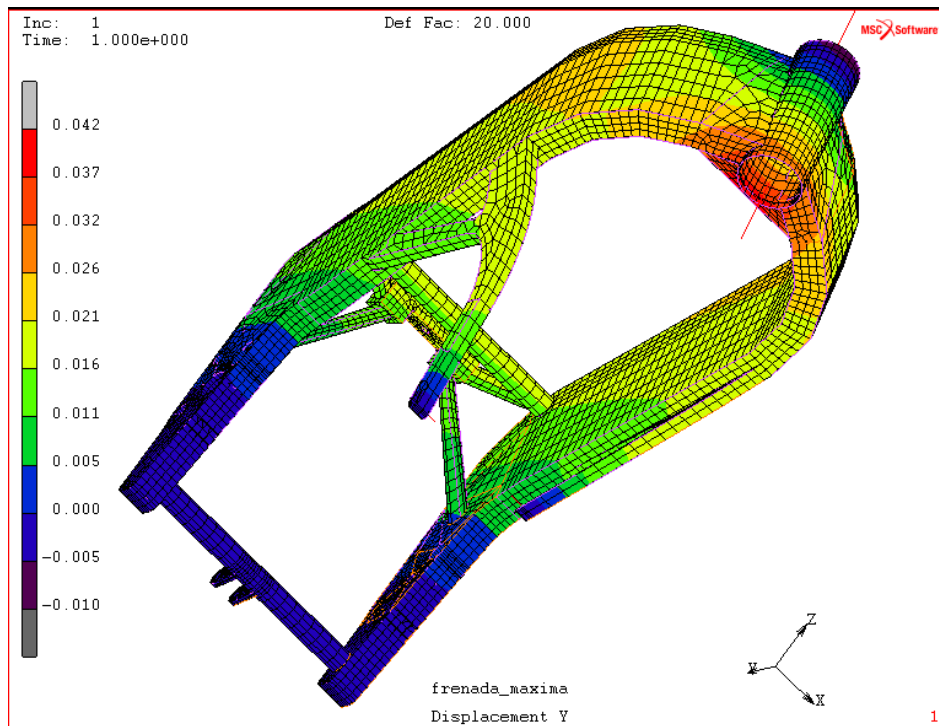
En estos ensayos anclaremos y aplicaremos las cargas sobre el chasis de la misma manera que lo hacíamos en los ensayos anteriores. La idea es ver cómo mejoran o empeoran los resultados a la hora de introducir más elementos de la moto.

##### ❖ *Frenada máxima*

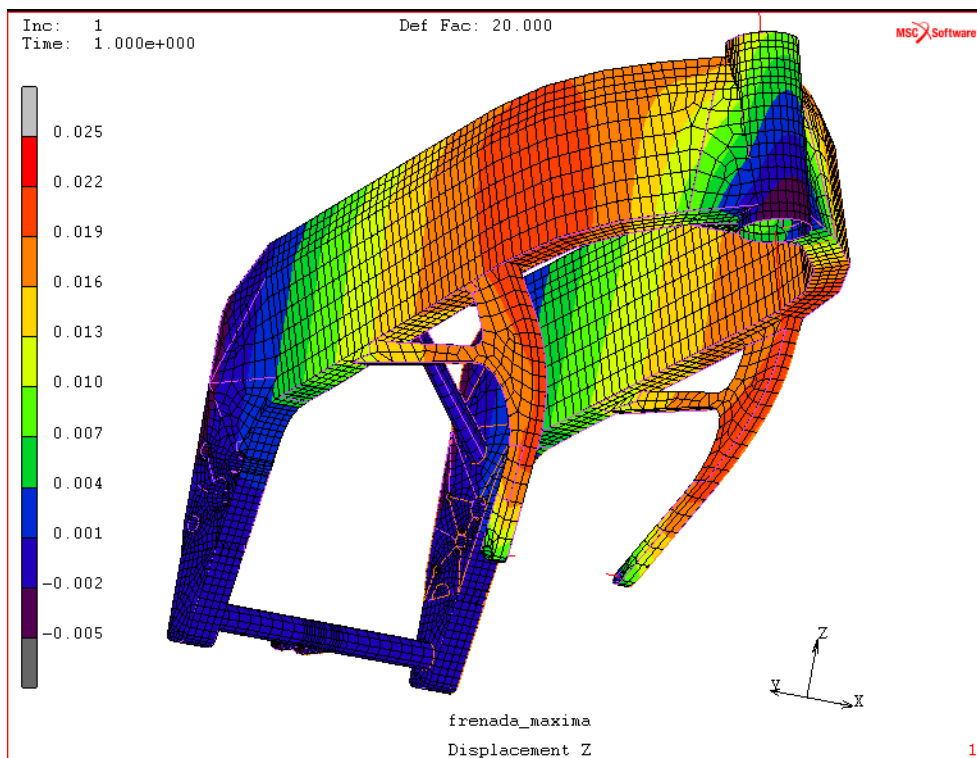
##### ▪ *Desplazamiento en x*



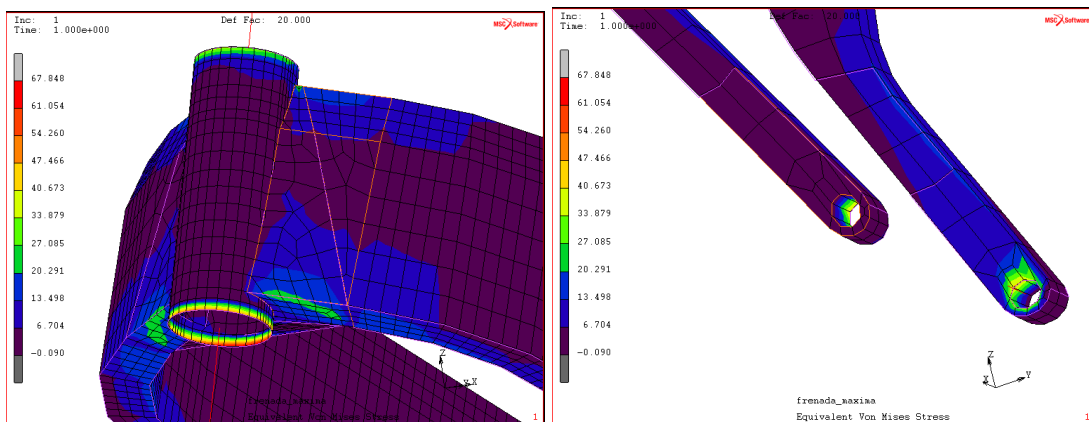
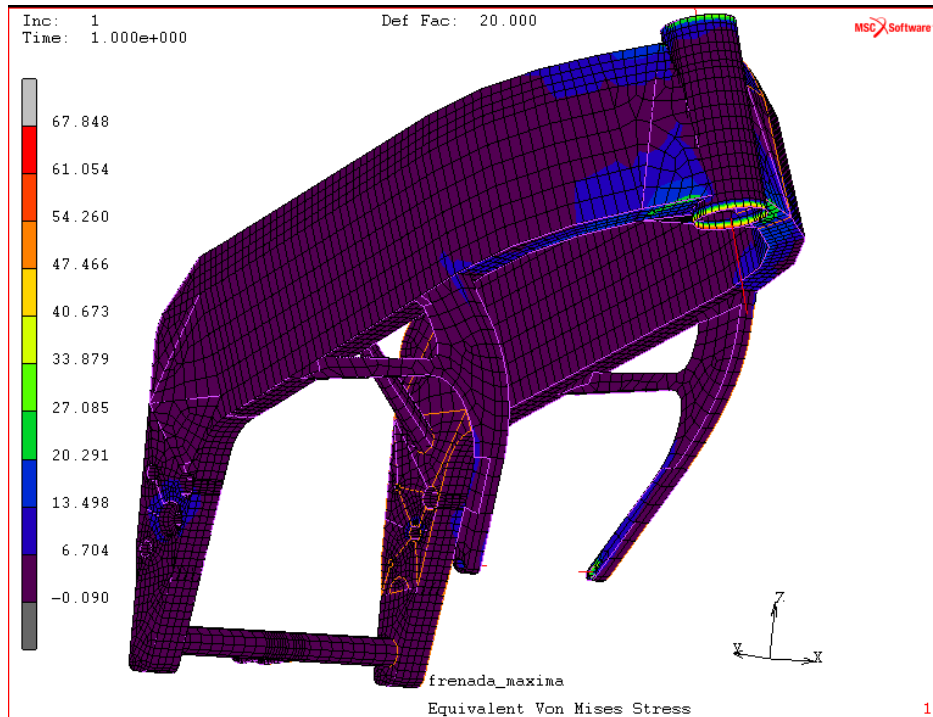
▪ *Desplazamiento en y*



▪ *Desplazamiento en z*



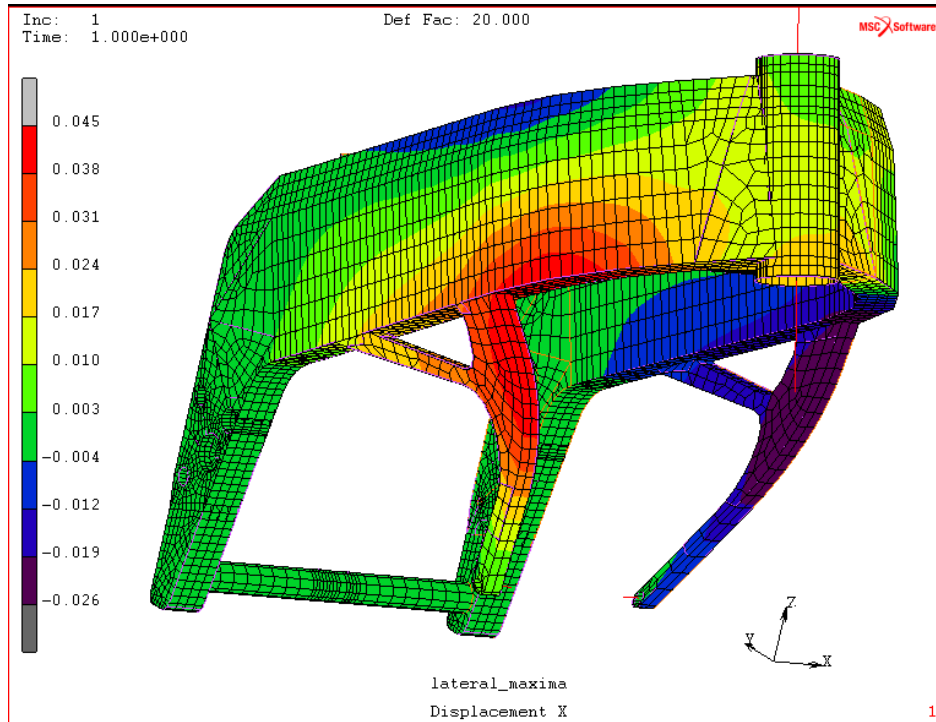
▪ **Tensión de Von Mises**



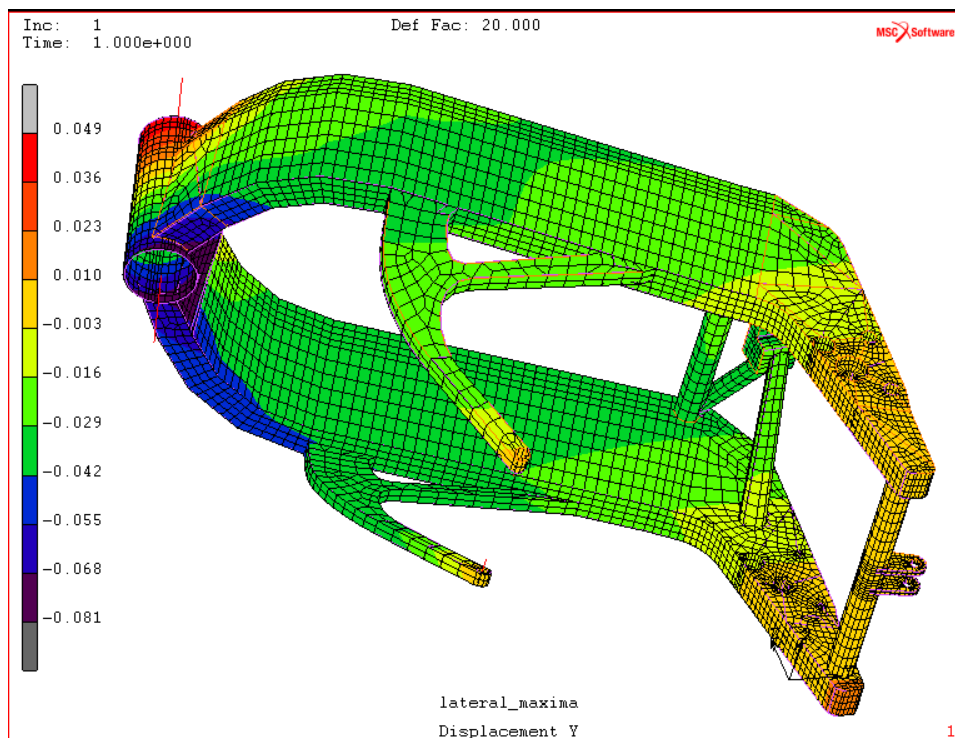
En este primer ensayo, se aprecia una gran reducción de los desplazamientos, hasta casi ser nulos. Mientras que la tensión se ha elevado un poco, pero se concentra en la parte inferior de la pipa, en un espesor de menos de 5 mm, por lo que una vez que se fije con la horquilla y las tijas, quedará mejor sujeta y las tensiones se distribuirán. La mayor parte del chasis soporta tensiones de 6 MPa y áreas concretas hasta 21 MPa.

❖ *Combinación de frenada y curva*

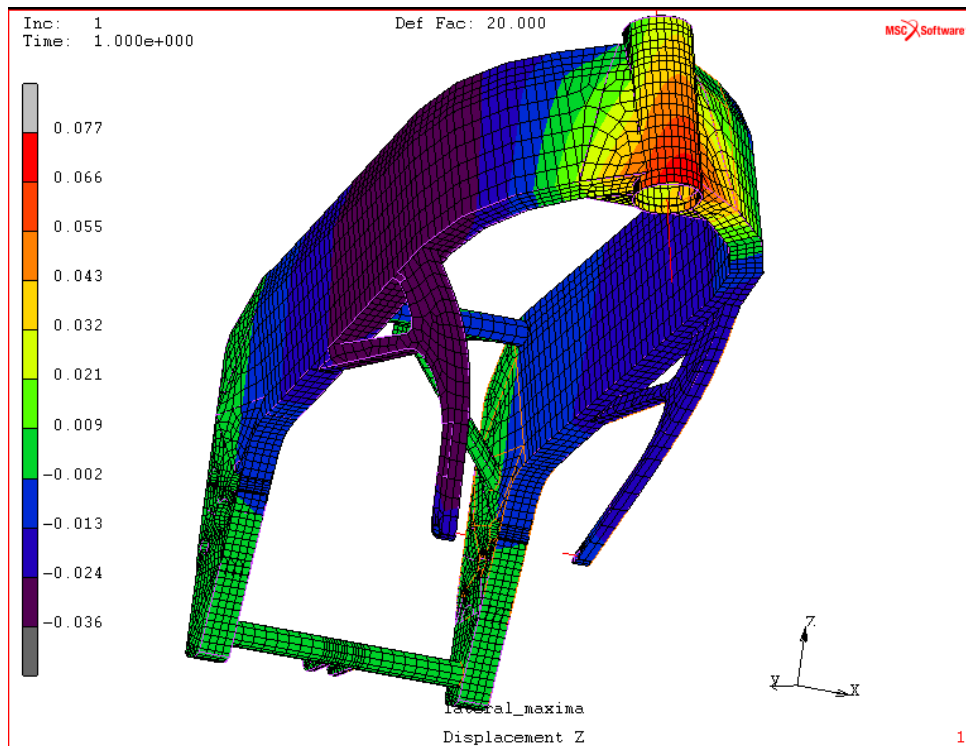
▪ *Desplazamiento en x*



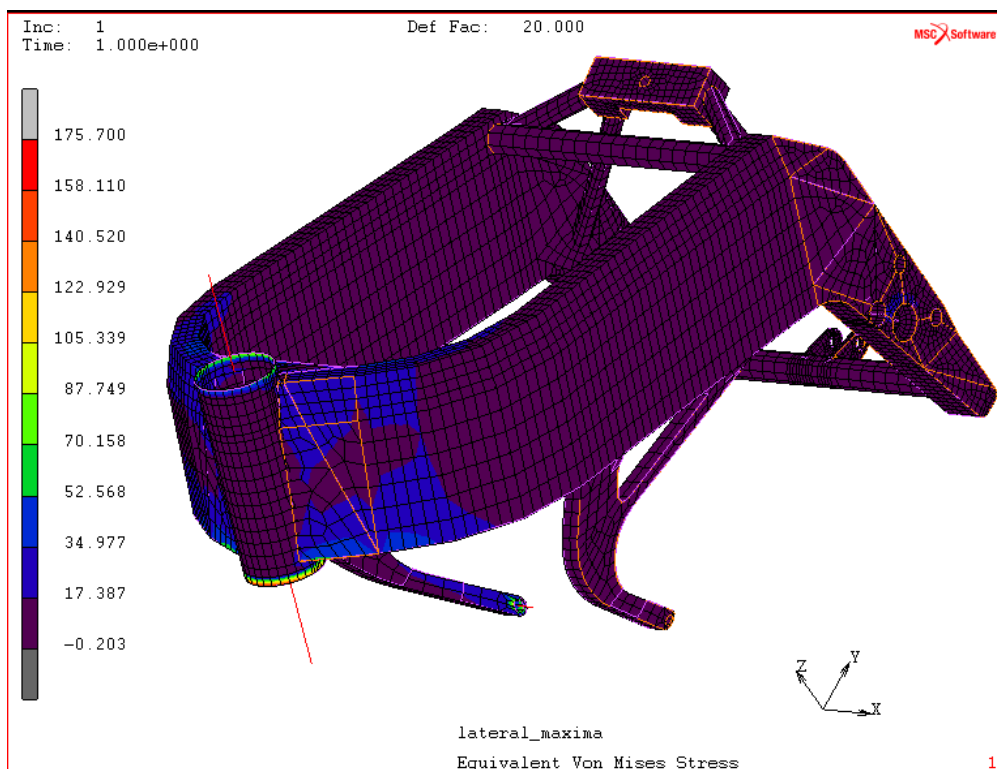
▪ *Desplazamiento en y*

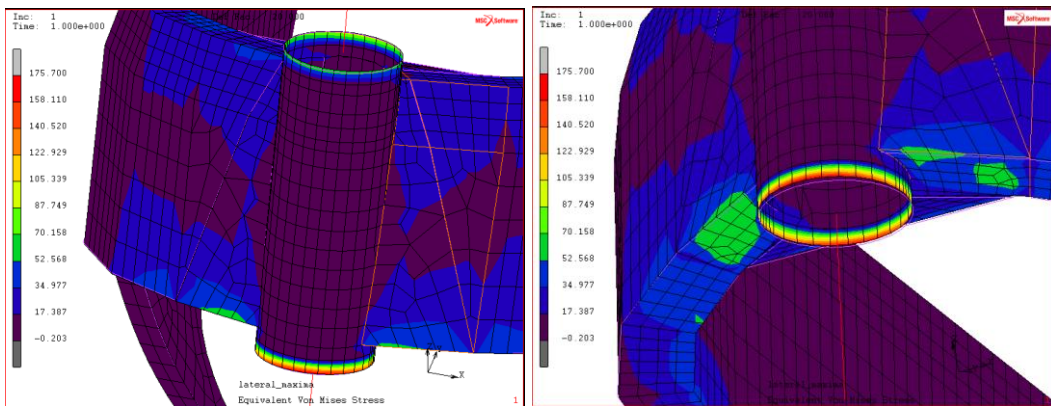


▪ **Desplazamiento en z**



▪ **Tensión de Von Mises**

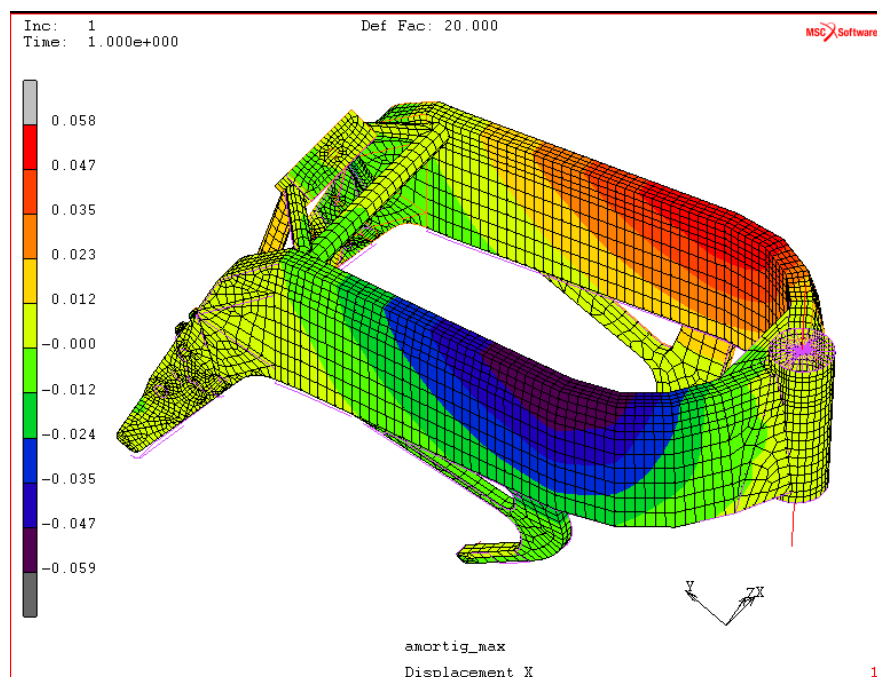




En este ensayo, en el cual se aplica la fuerza lateral máxima, se han reducido significativamente los desplazamientos, es decir, que son prácticamente nulos. Lo que sin ninguna duda ha sufrido una gran reducción ha sido la tensión, ya que ha pasado de 272 a 176 MPa, lo cual es una gran ventaja, ya que era la tensión más alta de los tres ensayos realizados. Esto nos permite ampliar la gama de aluminios que pueden ser utilizados. Además, las tensiones más altas se concentran en la parte baja de la pipa, en un espesor muy pequeño, mientras que la mayor parte del chasis se mantiene a unas tensiones de 17 MPa. En las zonas más cercanas a la pipa se elevan hasta los 50 MPa, y partes muy concretas de la chapa inferior hasta 87 MPa.

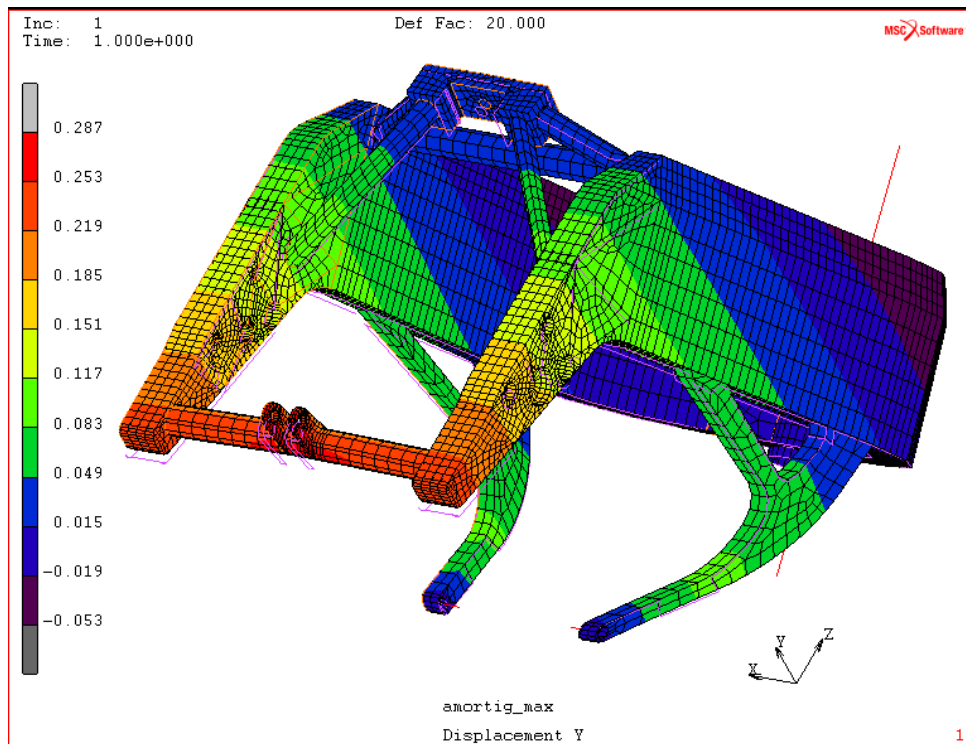
❖ **Máxima compresión del amortiguador trasero**

▪ **Desplazamiento en x**

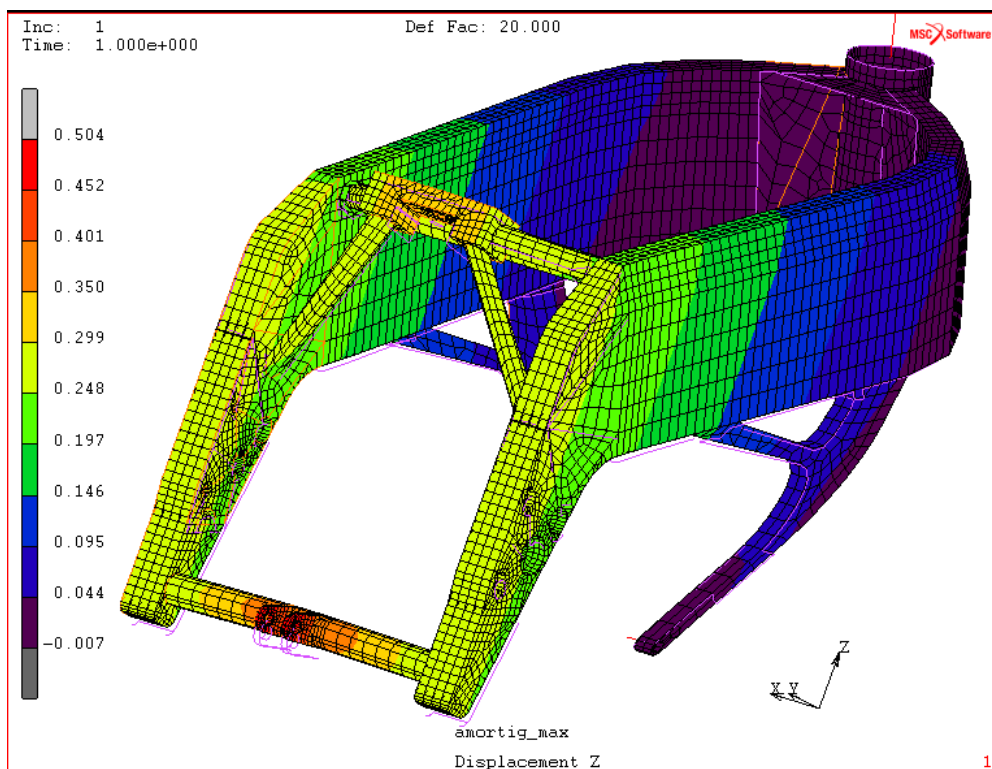


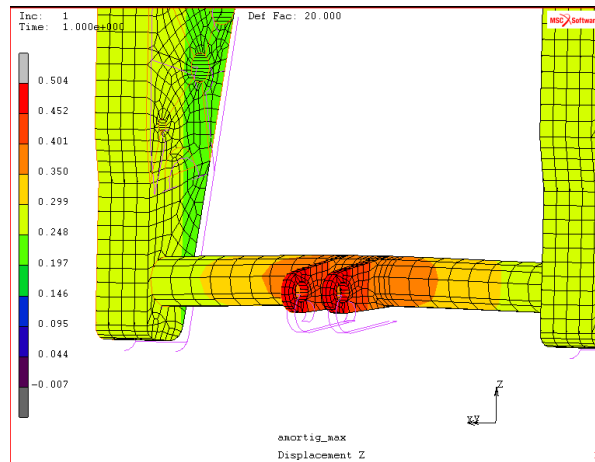


▪ *Desplazamiento en y*

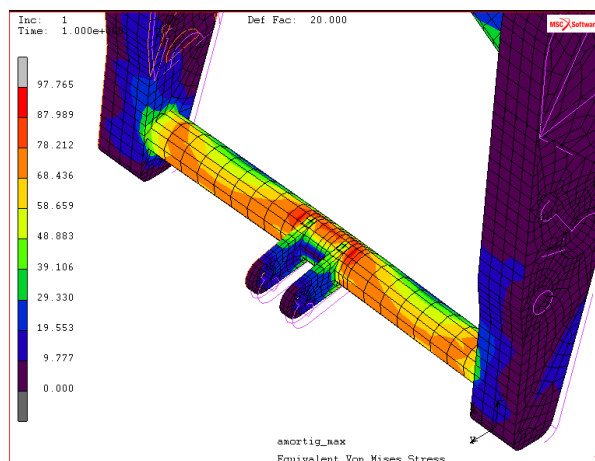
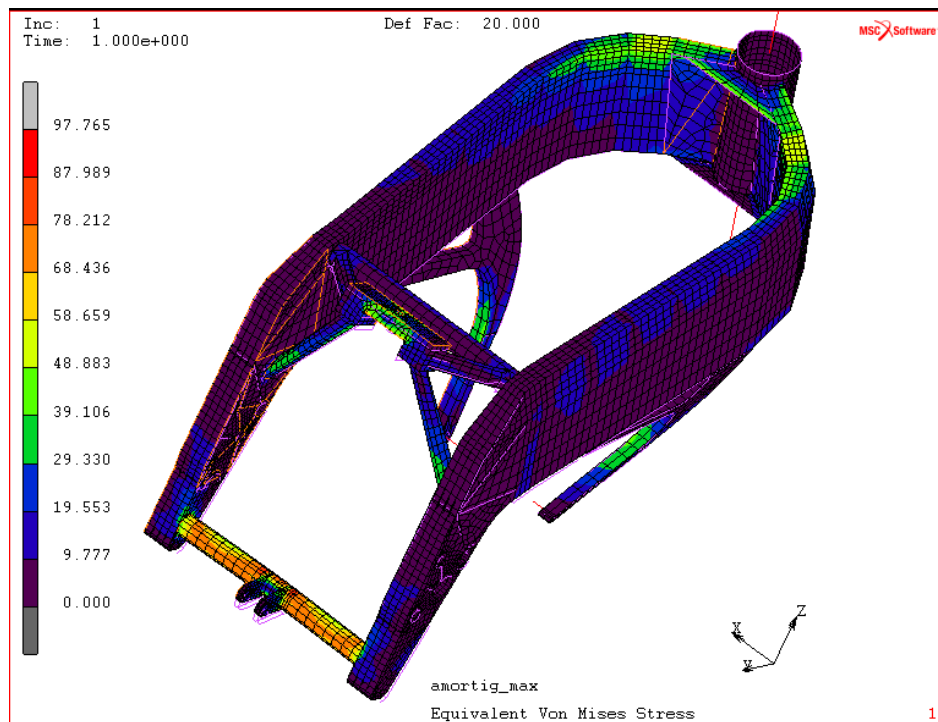


▪ *Desplazamiento en z*





■ **Tensión de Von Mises**



En este ensayo se mantienen las tensiones y los desplazamientos prácticamente iguales que en el anterior, ya que la introducción del motor y la horquilla no afecta tanto a esta zona. En esta parte sería interesante hacer ensayos con la introducción del basculante, puesto que es el elemento más inmediato. Aun así las tensiones son menores que en el ensayo de fuerza lateral, por lo que estará dentro de los límites.

	<b>FRENADA MÁXIMA</b>	<b>LATERAL MÁXIMA</b>	<b>COMPRESIÓN AMORTIGUADOR</b>
<b>DESPLAZAMIENTO X</b>	0.008	0.045	0.059
<b>DESPLAZAMIENTO Y</b>	0.042	0.081	0.287
<b>DESPLAZAMIENTO Z</b>	0.025	0.077	0.504
<b>VON MISES</b>	67.848	175.700	97.765

Como puede observarse en los resultados, al introducir el motor y la horquilla se consigue una disminución, tanto de tensiones como de desplazamientos. Por lo que una vez que esté ensamblada toda la moto, se conseguirán mejores resultados. Aunque el motor no es un elemento estructural en el diseño de este chasis, si aporta cierta rigidez y hace que las tensiones se distribuyan de manera diferente.

## 6.5 ANÁLISIS MODAL

El objetivo del Análisis modal en la mecánica estructural es determinar las formas modales naturales y frecuencias de un objeto o estructura durante vibración libre. Es común usar el Método de los elementos finitos (FEM) para desempeñar el análisis porque el objeto que se analiza puede tener formas arbitrarias y los resultados de los cálculos son aceptables. La interpretación física de los valores propios y vectores propios, las cuales vienen de resolver los sistemas, son aquellas que representan las frecuencias y formas modales correspondientes. A veces, las únicas modalidades deseadas son las menores frecuencias porque ellas pueden ser las modalidades más prominentes a las cuales el objeto vibrará, dominando todas las modalidades de frecuencias mayores.

También es posible determinar las frecuencias naturales y las formas modales de un objeto físico, a lo que se denomina análisis modal experimental. Los resultados de las pruebas físicas pueden usarse para calibrar un modelo de elemento finito o para determinar si las hipótesis hechas fueron correctas, como por ejemplo, propiedades de materiales y condiciones límites que fueron usadas.

Un modo de vibración es un patrón o forma característica en el que vibrará un sistema mecánico. La mayoría de los sistemas tienen muchos modos de vibración y es función del análisis modal determinarlos. La vibración de una estructura es siempre una combinación o una mezcla de todos los modos de vibración. Pero no todos están excitados el mismo grado.

Las frecuencias importantes serán las bajas y el análisis será hecho para obtener los primeros 10 modos.

Se van a realizar cuatro ensayos; en los dos primeros sin la introducción del motor y la horquilla y en los dos últimos, se introducirán para ver si los resultados obtenidos presentan variaciones importantes.

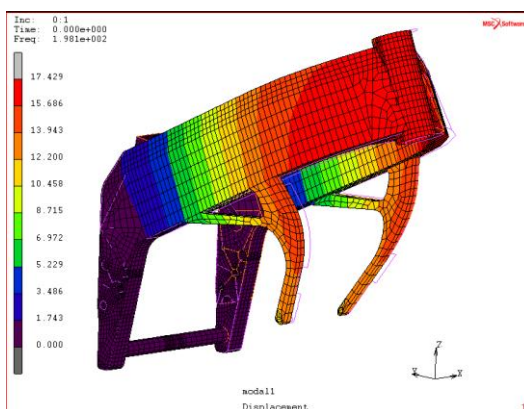
### 6.5.1 ENSAYO 1

El primer ensayo se realizará anclando el eje del basculante, con esto se quiere obtener cuales son las frecuencias y modos de vibración que puede excitar la horquilla delantera. Las frecuencias obtenidas para los 10 primeros modos de resonancia son las siguientes.

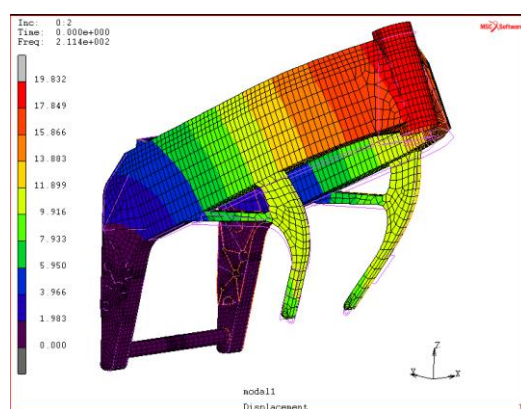
Modos de vibración	Frecuencias de resonancia ( Hz)
1	198.1
2	211.4
3	522
4	558.7
5	659.4
6	938.5
7	1114
8	1342
9	1421
10	1431

Ahora vamos a ver como serian los modos de vibración.

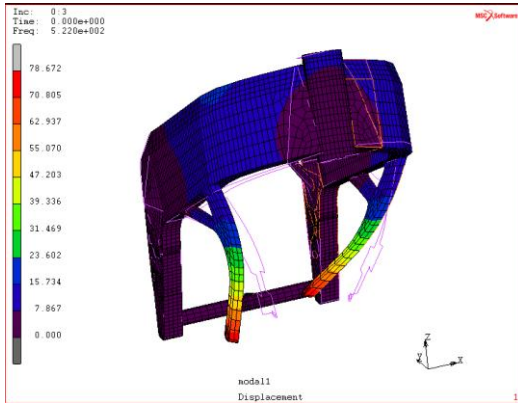
Modo 1



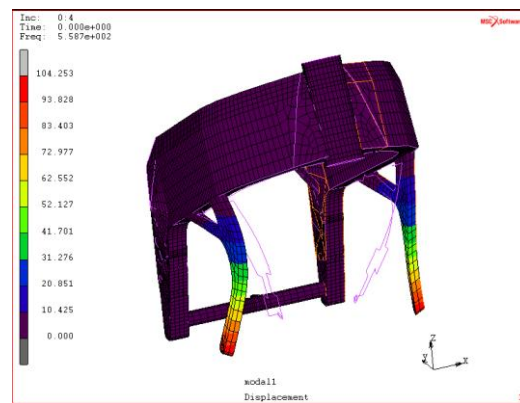
Modo 2



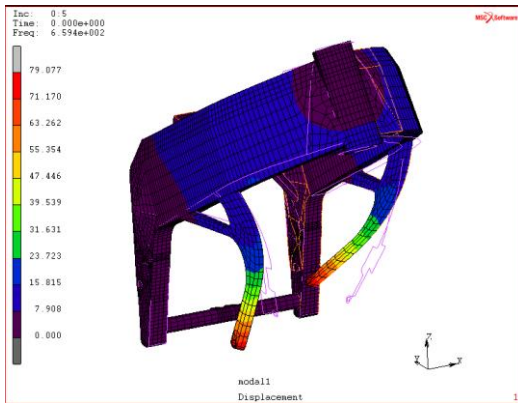
Modo 3



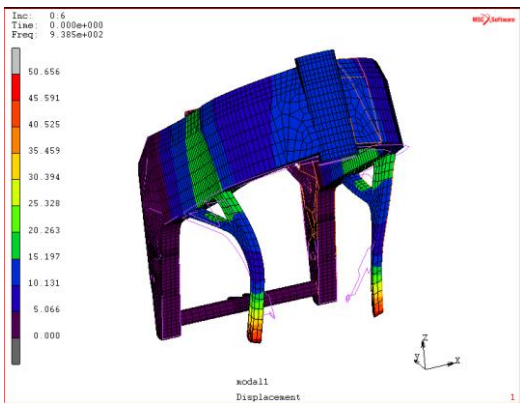
Modo 4



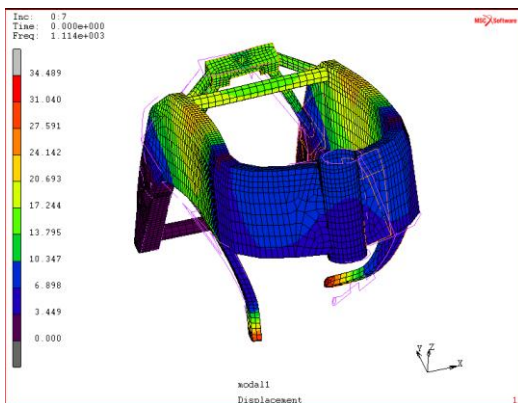
Modo 5



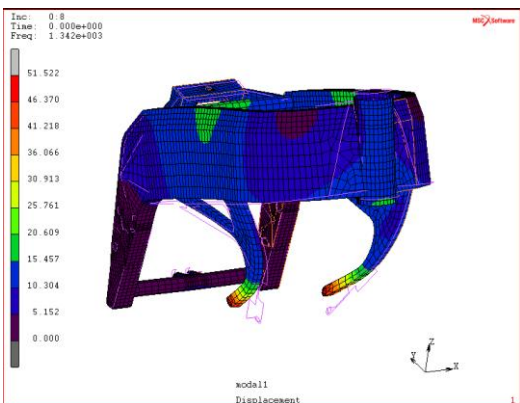
Modo 6



Modo 7

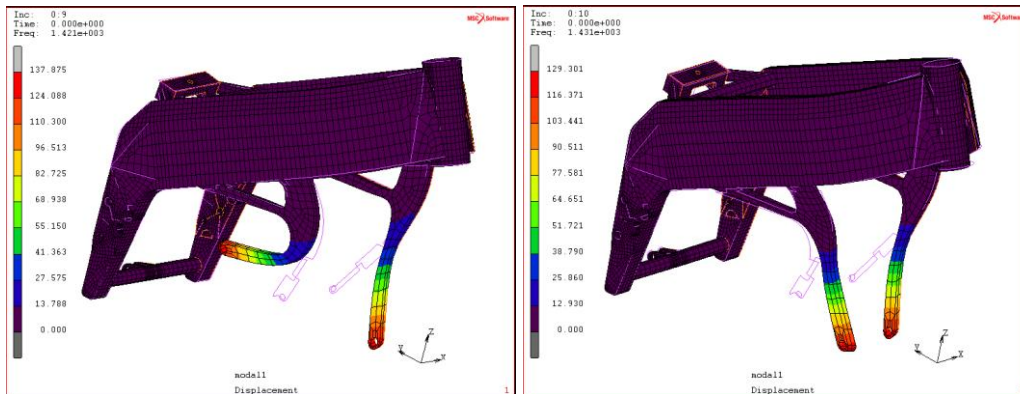


Modo 8



Modo 9

Modo 10



### 6.5.2 ENSAYO 2

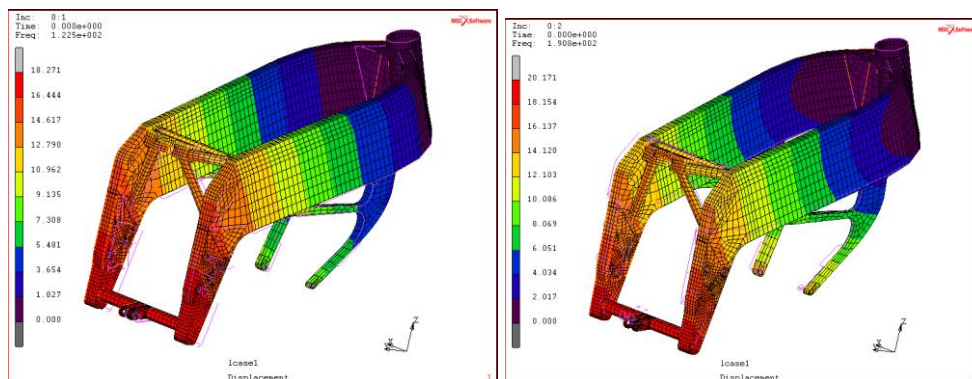
El segundo ensayo consiste en realizar un análisis modal al chasis anclándolo a través de la pipa de dirección, el objetivo de este ensayo es obtener las frecuencias de resonancia y modos de vibración que pueden ser excitados por el basculante. Las frecuencias obtenidas para los 10 primeros modos de resonancia son las siguientes.

Modos de vibración	Frecuencias de resonancia ( Hz)
1	122.5
2	190.8
3	374.9
4	536.2
5	562.9
6	697.2
7	825.1
8	880.7
9	1201
10	1316

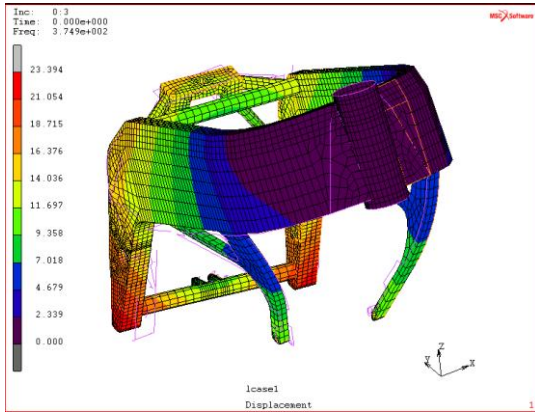
Ahora vamos a ver como serian los modos de vibración.

Modo 1

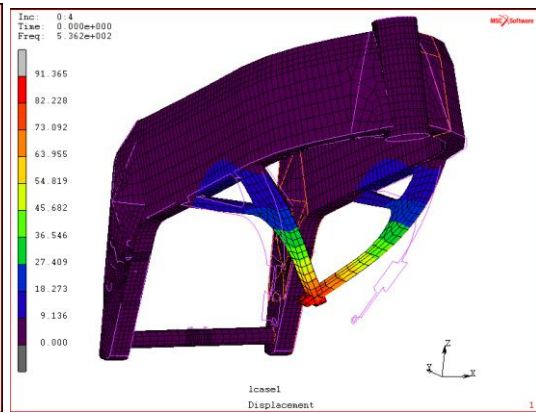
Modo 2



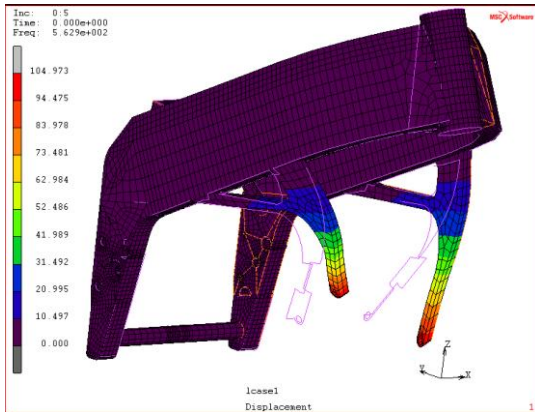
Modo 3



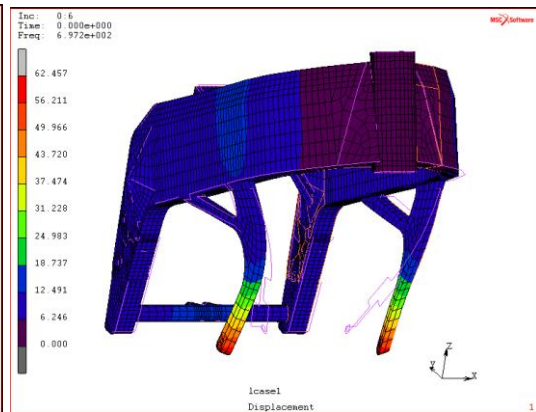
Modo 4



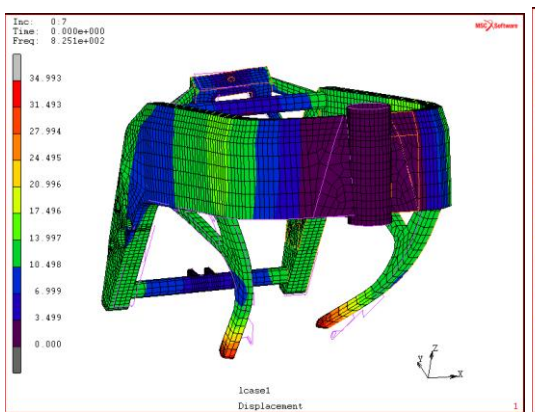
Modo 5



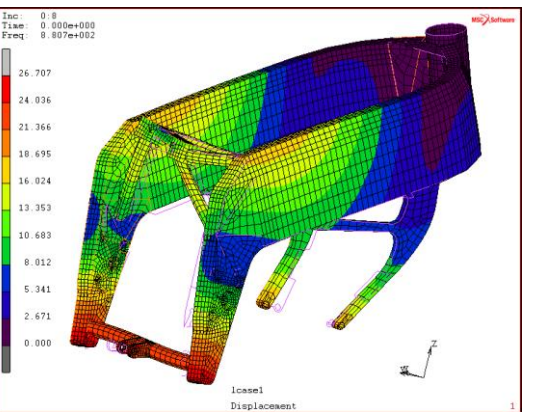
Modo 6



Modo 7

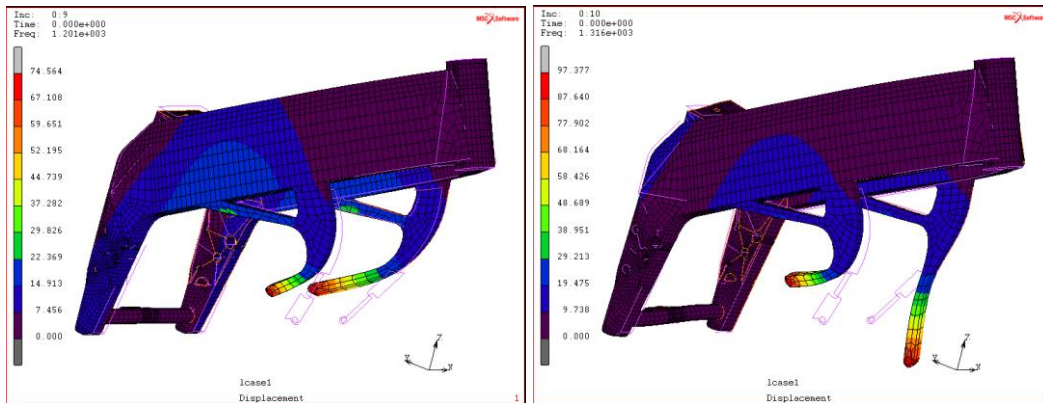


Modo 8



Modo 9

Modo 10



### 6.5.3 ENSAYO 3

En este caso realizaremos los ensayos anteriores pero incorporaremos el motor y la horquilla al conjunto. En este primer ensayo anclaremos el eje del basculante y obtendremos las 10 primeras frecuencias de resonancia con sus modos propios.

Los resultados son los siguientes.

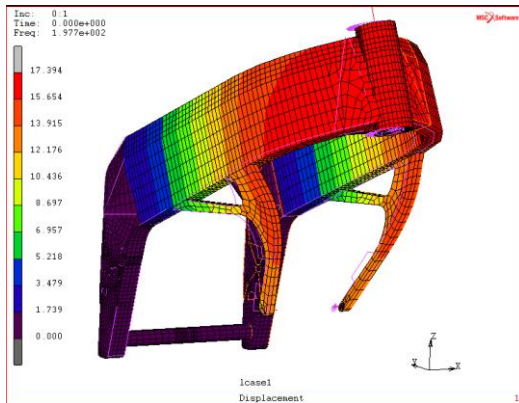
Modos de vibración	Frecuencias de resonancia ( Hz)
1	197.7
2	210.9
3	521.1
4	557.3
5	658.2
6	937.3
7	1113
8	1340
9	1415
10	1425

Vemos como se produce una disminución de las frecuencias respecto a los ensayos realizados para el chasis sin motor.

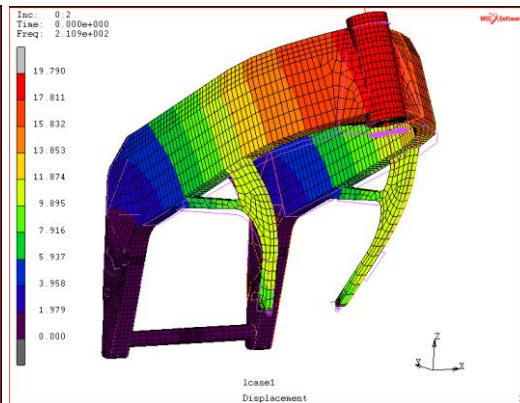
Los modos de vibración son los siguientes.



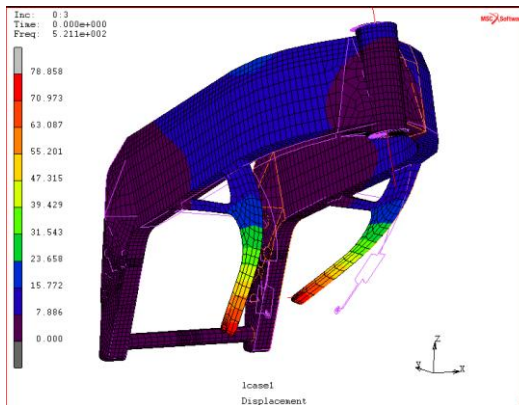
Modo 1



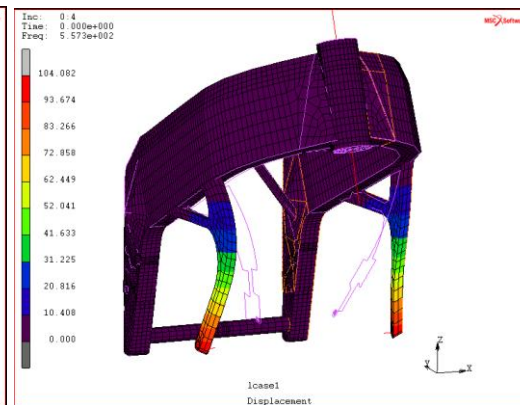
Modo 2



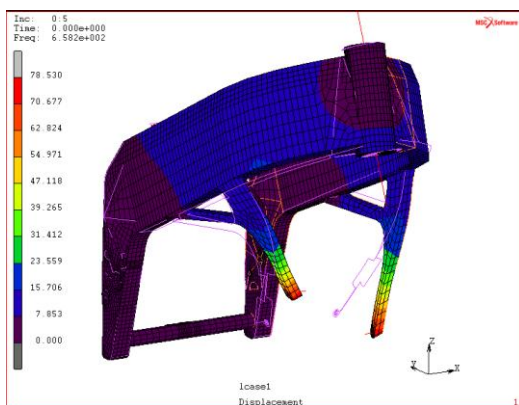
Modo 3



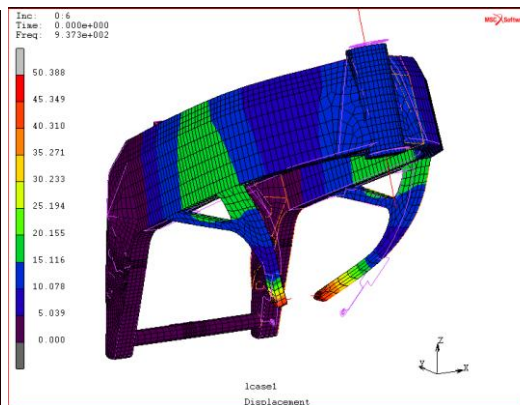
Modo 4



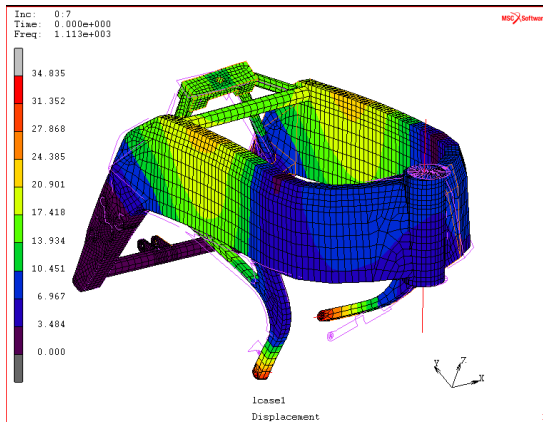
Modo 5



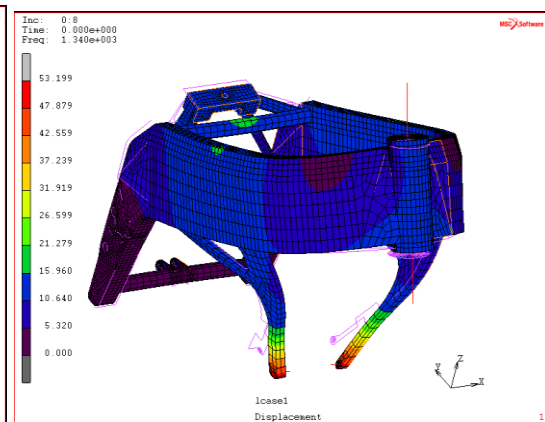
Modo 6



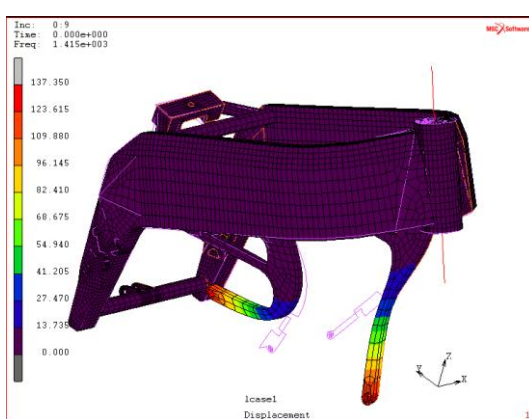
Modo 7



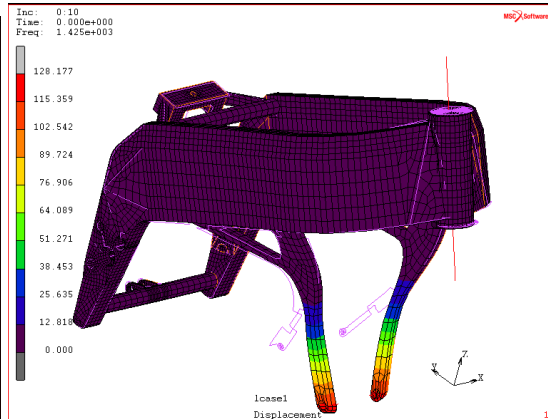
Modo 8



Modo 9



Modo 10



### 6.5.4 ENSAYO 4

Volveremos a realizar el ensayo anterior pero en este caso anclando la pipa de dirección.

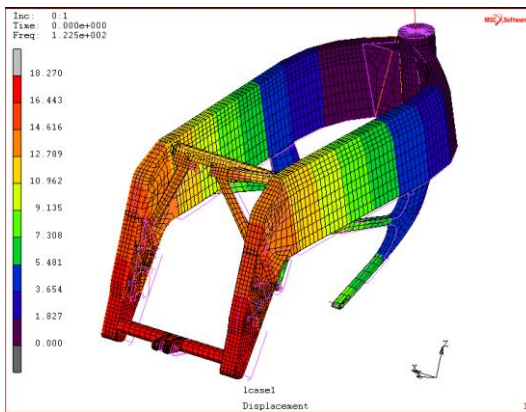
Los resultados son los siguientes.

Modos de vibración	Frecuencias de resonancia ( Hz)
1	122.5
2	190.8
3	374.9
4	535.2
5	561.4
6	696.5
7	824.8
8	880.6
9	1199
10	1313

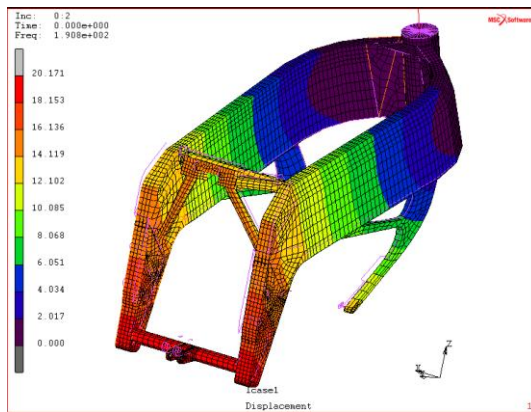
Se continúa observando que las frecuencias de resonancia se ven algo reducidas respecto a los ensayos realizados sin el motor.

Los modos de vibración serán los siguientes.

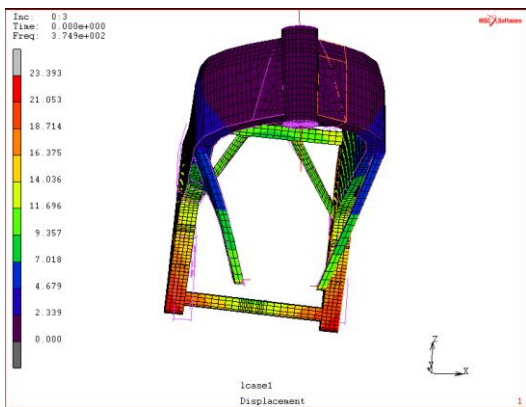
Modo 1



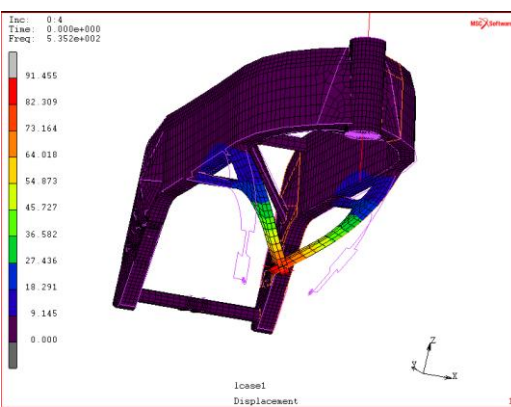
Modo 2



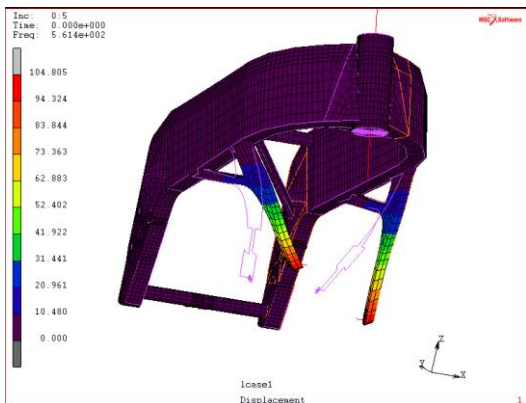
Modo 3



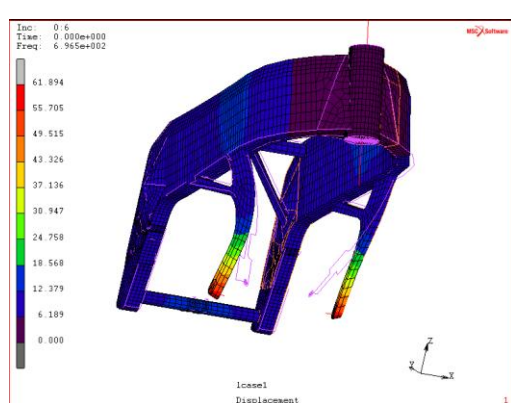
Modo 4



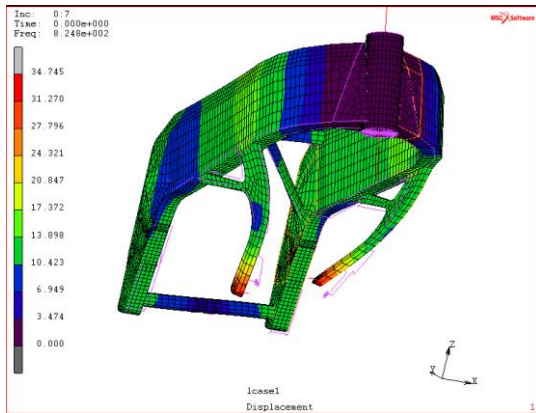
Modo 5



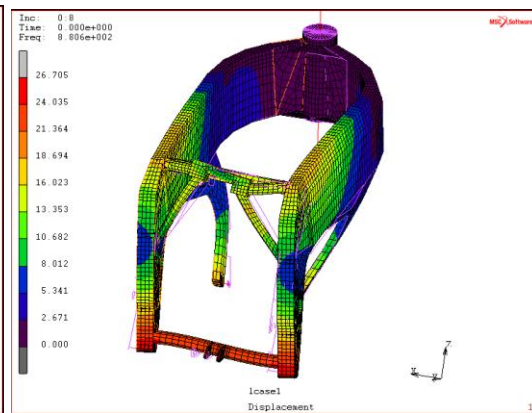
Modo 6



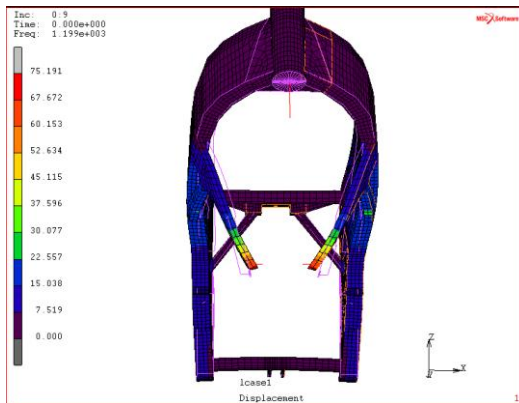
Modo 7



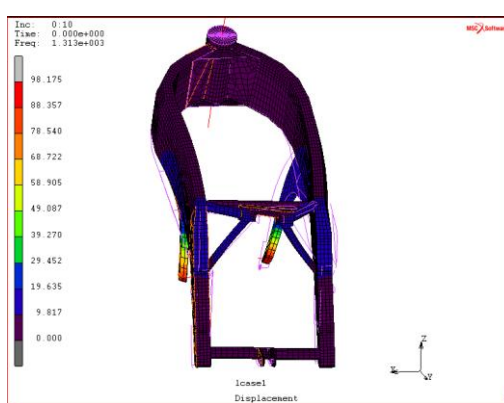
Modo 8



Modo 9



Modo 10



### 6.5.5 CONCLUSIONES

La presencia del motor dentro de la estructura hace que las frecuencias de resonancia se vean reducidas modificando así los diferentes modos de vibración. Por lo tanto si las ondas de excitación de nuestra estructura rondasen valores cercanos a los de resonancia tendríamos problemas, ya que la estructura comenzaría a vibrar según el modo propio excitado aumentando así significativamente las tensiones. En el caso de que se llegase a excitar alguno de los modos propios habría que realizar alguna modificación sobre el diseño para modificar la frecuencia de resonancia a la que este es excitado.

Es aconsejable tener en cuenta los resultados de estos ensayos a la hora de diseñar, para que elementos como el amortiguador no alcancen esas frecuencias de vibración natural y no entren en resonancia, ya que el chasis sufriría transformaciones irreparables. Sería más adecuado un análisis modal a toda la moto para ver cómo se comporta en conjunto.

## **7 MATERIALES Y PROCESOS DE FABRICACIÓN**

### **7.1 ELECCIÓN DEL TIPO DE ALUMINIO**

Como se comentó anteriormente, se realizará la elección de los aluminios más adecuados para el modelo final teniendo en cuenta las tensiones resultantes para que el material no entre en la zona plástica.

#### **7.1.1 PROPIEDADES MECÁNICAS GENERALES**

Las propiedades mecánicas o propiedades de resistencia mecánica sirven en la mayoría de los casos como base para dictaminar sobre un material metálico, con vistas a un fin de aplicación concreto. A continuación se da un resumen de las propiedades mecánicas más importantes del aluminio no sólo sometido a esfuerzo continuo sino también, oscilante y por golpe.

**Dureza:** la mayoría de las veces se da en los materiales de aluminio la dureza Brinell, a causa de la sencillez de su determinación. Los valores de la dureza Brinell se extienden desde HB=15 para aluminio purísimo blando hasta casi HB=110 para AlZnMgCu 1,5 endurecido térmicamente, es decir, aleación 7075. Los valores de la dureza determinados por otros métodos, como el Vickers o el de Knoop, apenas tienen significado práctico en este metal. De vez en cuando se utiliza la microdureza, una variante del método Vickers, para determinar la dureza de capas anodizadas.

**Resistencia en el ensayo de tracción:** los importantísimos valores característicos que se obtienen en el ensayo de tracción para juzgar las propiedades resistentes de los materiales metálicos en general, son aplicables a los materiales de aluminio. Generalmente estos valores son el límite elástico 0,2%, la resistencia máxima a la tracción, el alargamiento a la rotura, así como la estricción de ruptura.

En general, la resistencia aumenta con el aumento de aleantes. Los dominios de la resistencia en cada aleación surgen, ante todo, como consecuencia de los aumentos de resistencia que se consiguen por deformación en frío o endurecimiento por tratamiento térmico. Los distintos elementos de aleación actúan de modo muy diferente en cuanto al aumento de resistencia.

Al aumentar la resistencia, aumenta el límite 0,2% más deprisa que la resistencia a la tracción, independientemente del mecanismo que motive el aumento de la resistencia. Este aumento se nota especialmente cuando el aumento de resistencia tiene lugar por deformación en frío. En general no se desean altas relaciones entre los límites elásticos (límite 0,2% y resistencia máxima) ya que expresan un comportamiento

relativamente quebradizo del material, razón fundamental por la que no se puede aumentar de forma arbitraria la resistencia de un material metálico.

**Resistencia a la compresión, a la flexión, al corte y a la torsión:** en los materiales aluminicos se puede admitir que el valor del límite de aplastamiento 0,2% (parámetro de la resistencia a la compresión) es igual al valor del límite elástico 0,2% de tracción. La resistencia a la compresión o el límite de aplastamiento 0,2% tienen importancia principalmente en las piezas sometidas a compresión tales como cojinetes de fricción.

La resistencia a la flexión en las aleaciones de aluminio se tiene en cuenta para las de fundición, en aquellos casos en que, al realizar el ensayo de tracción no es posible determinar el límite elástico con suficiente exactitud a causa de su pequeño valor.

La resistencia a cizalladura es importante para el cálculo de la fuerza necesaria para el corte y para determinadas construcciones. No existen valores normalizados. Generalmente está entre el 55 y 80 % de la resistencia a la tracción.

Casi nunca se determina la resistencia a la torsión, si se considera una distribución lineal de tensiones, puede considerársela igual a la resistencia al cizallamiento.

**Propiedades resistentes a temperaturas elevadas:** al aumentar la temperatura, disminuyen la resistencia a la tracción, el límite elástico y la dureza, en tanto que, en general, aumenta el alargamiento de rotura y la estricción de rotura. El factor tiempo juega un papel esencial en la determinación de valores de resistencia para altas temperaturas. Esta influencia se exterioriza de dos maneras:

*Cambios de estado.* Bajo la influencia de temperaturas elevadas se pueden producir modificaciones permanentes en la estructura de los materiales que han experimentado endurecimiento por deformación en frío, estas traen consigo una disminución de la resistencia mecánica.

*Procesos de fluencia.* A temperaturas elevadas el material puede experimentar deformaciones lentas bajo la acción de cargas en reposo, aumentando la velocidad en el cambio de forma con el incremento de la temperatura y de la tensión. Al mismo tiempo pueden surgir tensiones por debajo de la resistencia a la tracción o del límite elástico 0,2%.

**Características de resistencia a bajas temperaturas:** el comportamiento de los metales a bajas temperaturas depende fundamentalmente de la estructura de su red cristalina. El aluminio con su red FCC (ó CCC) tiene la misma estructura que el cobre, el níquel o los aceros austeníticos, por eso no se presentan nunca en las aleaciones de aluminio a temperaturas bajas las complicaciones que tienen lugar en los metales BCC, sobre todo en los aceros ferríticos.

**Resistencia a la fatiga:** la fatiga depende de una serie de factores. Además de la composición, estado y procedimiento de obtención del material, hay que considerar la clase y frecuencia de las sollicitaciones y, especialmente, la configuración de los elementos constructivos (distribución de fuerzas, tensiones máximas, superficie). La denominación "resistencia a la fatiga" se utiliza como concepto genérico para todos los casos de sollicitud alternativas.

Para el aluminio el límite de ciclos de carga está fijado en 10. Los ensayos se hacen casi siempre con 5 o 10 ciclos. Los resultados de los ensayos de fatiga alternativa presentan siempre una dispersión que no se disminuye aunque se utilicen métodos más precisos de medición. Se deben, principalmente, a contingencias casuales que intervienen al originarse la primera fisura y prosiguen en las fases iniciales de su expansión.

*Influencia del material.* La resistencia a la fatiga se aumenta mediante la formación de soluciones cristalinas, la conformación en frío y el endurecimiento. En las aleaciones de aluminio para laminación y forja existe una clara diferencia entre las no endurecibles y las endurecibles.

*Influencia de la sollicitación.* Al juzgar los valores de la resistencia a la fatiga se ha de tener en cuenta el tipo de sollicitación (tracción, compresión, flexión alternativa o rotativa) y, ante todo, la posición de la tensión media o la relación de tensiones respectivamente. Además, se ha de observar atentamente si se da la amplitud de resistencia a la fatiga o a la máxima tensión superior.

Además de los anteriores factores, también influyen en la resistencia a la fatiga, los máximos de tensión o efectos de entalladura, el estado superficial y del ambiente, la soldadura y la temperatura.

**Mecánica de la rotura. Tenacidad:** el comportamiento respecto a la resistencia a la rotura de un material es importante. En los elementos de construcción se presupone que existen siempre fisuras de un determinado tamaño y que se dimensionan los elementos de tal modo que estas fisuras no sobrepasan una magnitud crítica, dentro de un período de vida previsto y sobre todo, que no aumenten de modo inestable. La carga puede ser monótona estática u oscilante. También se puede tener en cuenta la carga de fluencia (método más apropiado para los materiales de aluminio) o las grietas de corrosión bajo tensión.

El valor característico utilizado con más frecuencia es el de la tenacidad a las fisuras K, definido para el estado de tensiones uniforme como la concentración de tensiones críticas en la punta de la fisura, que ocasiona la continuación del crecimiento de la misma. Los valores altos de K significan alta tenacidad, siendo favorables, cuando también son elevados los valores de resistencia a la tracción y el límite elástico.

Entre los valores de resistencia habituales obtenidos del ensayo de tracción y la tenacidad a las fisuras no existe, en general, ninguna dependencia. Desde el punto de vista cualitativo, la tenacidad a las fisuras desciende al aumentar la resistencia. El objetivo actual es desarrollar aluminios que tengan más resistencia y al mismo tiempo mayor tenacidad a la rotura.

**Resistencia al desgaste:** la resistencia a la abrasión o al desgaste de los materiales de aluminio es particularmente baja en el rozamiento en seco. No existe relación entre dureza y resistencia mecánica por un lado y resistencia a la abrasión por el otro.

Los materiales de aluminio sometidos a rozamiento, muestran un comportamiento aceptable como prueban las numerosas aplicaciones que tienen en cojinetes de fricción y émbolos. Debe mencionarse también que el desgaste se puede reducir drásticamente por un tratamiento superficial apropiado.

### **7.1.2 ALEANTES Y CLASIFICACIÓN DE LAS ALEACIONES DEL ALUMINIO**

Las propiedades del aluminio dependen de un conjunto de factores, de éstos, el más importante es la existencia de aleantes. Con la excepción del aluminio purísimo (99,99 % de pureza), técnicamente se utilizan sólo materiales de aluminio que contienen otros elementos. Aún en el aluminio purísimo, las impurezas (Fe y Si) determinan, en gran medida, sus propiedades mecánicas. El aluminio puro es relativamente débil, por ello se han desarrollado diversas aleaciones con diferentes metales.

Los elementos aleantes principales del aluminio son: cobre (Cu), silicio (Si), magnesio (Mg), zinc (Zn) y manganeso (Mn). En menores cantidades existen, frecuentemente, como impurezas o aditivos: hierro (Fe), cromo (Cr) y titanio (Ti). Para aleaciones especiales se adiciona: níquel (Ni), cobalto (Co), plata (Ag), litio (Li), vanadio (V), circonio (Zr), estaño (Sn), plomo (Pb), cadmio (Cd) y bismuto (Bi). En combinaciones de dos o más de estos elementos, se consigue una infinidad de aleaciones para un gran variedad de aplicaciones con características incluso superiores al aluminio.

Una de las posibles clasificaciones del aluminio divide a todas estas opciones en dos grandes grupos bien diferenciados, estos dos grupos son: forja y fundición. Esta división se debe a los diferentes procesos de conformado que puede sufrir el aluminio y sus aleaciones.

Dentro del grupo de aleaciones de aluminio forjado encontramos otra división clara, que es la del grupo de las tratables térmicamente y las no tratables térmicamente. Las no



tratables térmicamente solo pueden ser trabajadas en frío con el fin de aumentar su resistencia.

Conviene señalar que, dentro de las aleaciones para forja, los grupos principales de las no tratables térmicamente son: 1xxx, 3xxx y 5xxx. Dentro de las tratables térmicamente los grupos principales son: 2xxx, 6xxx y 7xxx. En esta última división, se encuentran las aleaciones de aluminio con mayores resistencias mecánicas, los grupos 2xxx y 7xxx, en especial las aleaciones 2024 y 7075 que son muy utilizadas en situaciones que requieren máxima resistencia mecánica junto con ligereza.

Otra posible clasificación sería la realizada por Aluminium Association Inc.- AAI, que las divide en grupos con la siguiente nomenclatura:

**Serie 1000:** Aluminio con un mínimo de pureza de 99%, que presenta las siguientes características:

- Alta resistencia a la corrosión
- No tóxico
- Excelente acabado
- Excelente maleabilidad
- Alta conductividad eléctrica y térmica
- Excelente reflectividad

**Serie 2000:** Aleado con Cobre

- Alta resistencia mecánica
- Alta resistencia a la corrosión
- Buena maquinabilidad

**Serie 3000:** Aleado con Manganeso

- Buena resistencia mecánica
- Alta resistencia a la corrosión
- Buena maleabilidad

**Serie 4000:** Aleado con Silicio

- Alta resistencia al calor

**Serie 5000:** Aleado con Magnesio

- Buena resistencia mecánica
- Alta resistencia a la corrosión (al agua de mar)
- Muy buena soldabilidad

**Serie 6000:** Aleado con Silicio - Magnesio

- Buena resistencia mecánica
- Buena resistencia a la corrosión
- Buena maquinabilidad
- Buena soldabilidad

**Serie 7000:** Aleado con Zinc

- Alta resistencia mecánica
- Buena maquinabilidad

Una vez vistos los diferentes grupos con los que nos encontramos, podemos ver algunas de las propiedades más interesantes reflejadas en la siguiente tabla.

**Aluminios**



ALEACIONES	CARGA DE ROTURA Rm N/mm <sup>2</sup>	LIMITE ELASTICO Rp0,2 N/mm <sup>2</sup>	ALARGAMIENTO 5,65%	DUREZA BRINELL HB	ANODIZADOS		POSIBILIDAD DE SUMINISTRO	MEDIDAS COMERCIALES
					DECORATIVOS	DUROS		
<b>ALUMINIO 99,5%</b>								
1050	80-100	35-85	13-42	21-30	BUENA	MUY BUENA	CHAPAS	2000mmx1000mm
<b>ALUMINIO -CU</b>								
2011 <i>col</i>	370	290	12-15	95	MALA	REGULAR	BARRAS	Long. 3000mm
2017	425	275	13-21	105	REGULAR	BUENA	PLACAS	3020mmx1520mm
2030	440	290	12-15	110	MALA	REGULAR	BARRAS	Long. 3000mm
<b>ALUMINIO -MG</b>								
5083	300	145	23-25	70-80	REGULAR	MUY BUENA	BARRAS CHAPAS PLACAS	Long. 3000mm 3020mmx1520mm 3020mmx1520mm
<i>ALPLAM. CARACTERIZADO</i>								
<b>AL-MG-SI</b>								
6063	220	175	15	60	MUY BUENA	MUY BUENA	PLETINAS PERFILES TUBOS	Long. 6000mm Long. 6000mm Long. 6000mm
<i>phi y perfilado</i>								
6082	340	310	11-12	95-100	REGULAR	MUY BUENA	BARRAS PLACA PLETINA	Long. 3000mm 3020mmx1520mm Long. 6000mm
<i>phi y perfilado</i>								
<b>ALUMINIO -ZN</b>								
7022	450	370	8-10	125-175	MALA	BUENA	PLACA	3020mmx1520mm
7075	570	505	10	145	REGULAR	MUY BUENA	BARRA PLACA	Long. 3000mm 3020mmx1520mm

Dentro de los grupos, los más recomendables para esta aplicación son el 6082, 5083, 2024 y 7022. Cada uno presenta una composición y características diferentes, las cuales se presentan a continuación.

• **ALUMINIO 6082**

**COMPOSICIÓN QUÍMICA**

%	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Otros elementos	Al
Mínimo	0,70			0,40	0,60				Otros Total	
Máximo	1,30	0,50	0,10	1,00	1,20	0,25	0,20	0,10	0,05	0,10
										El resto

**PROPIEDADES FÍSICAS TÍPICAS (a temperatura ambiente de 20°C)**

Módulo elástico N / mm <sup>2</sup>	Peso específico g / cm <sup>3</sup>	Intervalo de fusión °C	Coefficiente de dilatación lineal 1 / 10 <sup>6</sup> K	Conductividad térmica W / m K	Resistividad eléctrica a 20°C - μΩ cm	Conductividad eléctrica % IACS	Potencial de disolución V
70.000	2,71	575 - 650	23,1	T4 - 167 T6 - 172	T4 - 4,1 T6 - 3,9	T4 - 42 T6 - 44	- 0,83

**CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LA ALEACIÓN A DIFERENTES TEMPERATURAS**

Estado	-195°C			-80°C			-30°C			+25°C			+100°C		
	Rm	Rp 0,2	A 5, 65	Rm	Rp 0,2	A 5, 65	Rm	Rp 0,2	A 5, 65	Rm	Rp 0,2	A 5, 65	Rm	Rp 0,2	A 5, 65
T6	395	330	16	330	290	13	315	280	12	315	280	12	300	265	14
Estado	+150°C			+205°C			+260°C			+315°C			+370°C		
	Rm	Rp 0,2	A 5, 65	Rm	Rp 0,2	A 5, 65	Rm	Rp 0,2	A 5, 65	Rm	Rp 0,2	A 5, 65	Rm	Rp 0,2	A 5, 65
T6	240	220	17	130	105	28	50	35	60	30	18	80	20	12	85

Rm N/mm<sup>2</sup>; Rp N/mm<sup>2</sup>; A 5,65 %.

Según normas A.A.



El aluminio 6082 es una aleación de características medias y buena forjabilidad. Esta aleación que endurece por tratamiento térmico, tiene una buena aptitud a la soldadura pero pierde casi un 30 % de la carga de rotura en la zona soldada, por lo que es aconsejable hacer un tratamiento de maduración para recuperar las características perdidas.

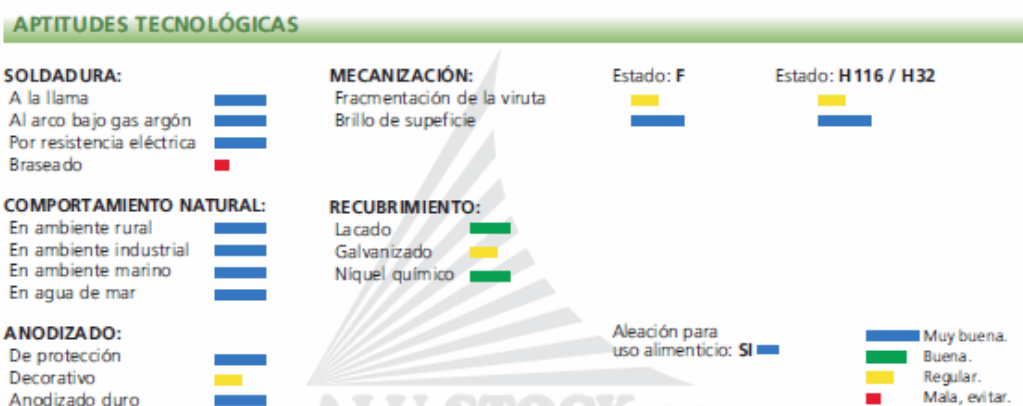
- **ALUMINIO 5083**

**COMPOSICIÓN QUÍMICA**

%	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Otros elementos	Al
Mínimo				0,40	4,00	0,05			Zi+ Total	
Máximo	0,40	0,40	0,10	1,00	4,90	0,25	0,25	0,15	Ti	0,15 El resto

**PROPIEDADES FÍSICAS TÍPICAS (a temperatura ambiente de 20°C)**

Módulo elástico N / mm <sup>2</sup>	Peso específico g / cm <sup>3</sup>	Intervalo de fusión °C	Coefficiente de dilatación lineal 1 / 10 <sup>6</sup> K	Conductividad térmica W / m K	Resistividad eléctrica a 20°C - μ(Ω) cm	Conductividad eléctrica % IACS	Potencial de disolución V
71.000	2,66	580 - 640	23,8	117	6,0	28,5	-0,86



**CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LA ALEACIÓN A DIFERENTES TEMPERATURAS**

Estado	-195°C			-80°C			-30°C			+25°C			+100°C		
	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65
0	405	165	36	295	145	30	290	145	27	290	145	25	275	145	36

Estado	+150°C			+205°C			+260°C			+315°C			+370°C		
	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65
0	215	130	50	150	115	60	115	75	80	75	50	110	41	29	130

Rm N/mm<sup>2</sup> ; Rp N/mm<sup>2</sup> ; A 5,65 %.

Según normas A.A.

Su resistencia mecánica es alta, con gran resistencia a la corrosión, muy buena soldabilidad. Suele sufrir agrietamientos inter cristalinos y de corrosión bajo tensión tras tratamientos térmicos inadecuados (soldadura).

- **ALUMINIO 2024**

**COMPOSICIÓN QUÍMICA**

%	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Otros elementos	Al
Mínimo			3,80	0,30	1,20				Zr+Ti Total	
Máximo	0,50	0,50	4,90	0,90	1,80	0,10	0,25	0,15	0,20	0,15

El resto

**PROPIEDADES FÍSICAS TÍPICAS (a temperatura ambiente de 20°C)**

Módulo elástico N / mm <sup>2</sup>	Peso específico g / cm <sup>3</sup>	Intervalo de fusión °C	Coefficiente de dilatación lineal 1 / 10 <sup>6</sup> K	Conductividad térmica W / m K	Resistividad eléctrica a 20°C - µΩ cm	Conductividad eléctrica % IACS	Potencial de disolución V
73.000	2,79	500 - 640	23,1	121-193	T0 - 34 T3/T4 - 5,7	T0 - 50 T3/T4 - 30	-0,69

**APTITUDES TECNOLÓGICAS**

<p><b>SOLDADURA:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>A la llama <span style="color: green;">■</span></li> <li>Al arco bajo gas argón <span style="color: green;">■</span></li> <li>Por resistencia eléctrica <span style="color: blue;">■</span></li> <li>Braseado <span style="color: green;">■</span></li> </ul>	<p><b>MECANIZACIÓN:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Fracmentación de la viruta <span style="color: green;">■</span></li> <li>Brillo de supeficie <span style="color: green;">■</span></li> </ul>	<p>Estado: T3 <span style="color: green;">■</span></p> <p>Estado: T4 <span style="color: green;">■</span></p>
<p><b>COMPORTAMIENTO NATURAL:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>En ambiente rural <span style="color: yellow;">■</span></li> <li>En ambiente industrial <span style="color: red;">■</span></li> <li>En ambiente marino <span style="color: red;">■</span></li> <li>En agua de mar <span style="color: red;">■</span></li> </ul>	<p><b>RECUBRIMIENTO:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Lacado <span style="color: green;">■</span></li> <li>Galvanizado <span style="color: green;">■</span></li> <li>Níquel químico <span style="color: green;">■</span></li> </ul>	<p>Aleación para uso alimenticio: <b>NO</b> <span style="color: red;">■</span></p>
<p><b>ANODIZADO:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>De protección <span style="color: yellow;">■</span></li> <li>Decorativo <span style="color: red;">■</span></li> <li>Anodizado duro <span style="color: yellow;">■</span></li> </ul>	<p> <span style="color: blue;">■</span> Muy buena.  <span style="color: green;">■</span> Buena.  <span style="color: yellow;">■</span> Regular.  <span style="color: red;">■</span> Mala, evitar.         </p>	

**CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LA ALEACIÓN A DIFERENTES TEMPERATURAS**

Estado	-195°C			-80°C			-30°C			+25°C			+100°C		
	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65
T3	585	425	18	505	360	17	495	350	17	485	345	17	455	330	16
T4	580	420	19	490	340	19	475	325	19	470	325	19	435	310	19
T6	580	470	11	495	405	10	485	400	10	475	395	10	450	370	10

Estado	+150°C			+205°C			+260°C			+315°C			+370°C		
	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65
O	380	310	11	185	140	23	75	60	55	50	41	75	34	28	100
H14	310	250	17	180	130	27	75	60	55	50	41	75	34	28	100
H18	310	250	17	180	130	27	75	60	55	50	41	75	34	28	100

Rm N/mm<sup>2</sup> ; Rp N/mm<sup>2</sup> ; A 5,65 %.

Según normas A.A.

• **ALUMINIO 7022**

**COMPOSICIÓN QUÍMICA**

%	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Otros elementos	Al
Mínimo			0,50	0,10	2,60	0,10	4,30		Ti + Zr	Total
Máximo	0,50	0,50	1,00	0,40	3,70	0,30	5,20	0,20	0,05	El resto

**PROPIEDADES MECÁNICAS TÍPICAS (a temperatura ambiente de 20°C)**

Espesor	Carga de rotura Rm. N/mm <sup>2</sup>	Características a la tracción		Alargamiento A 5,65 %	Dureza Brinell (HB)
		Límite elástico Rp 0,2. N/mm <sup>2</sup>			
6 - 25	450 - 540	370 - 460		8	125 - 150
26 - 50	450 - 530	370 - 460		7	125 - 150
50 - 100	430 - 500	350 - 420		5	110 - 145
101 - 200	410 - 490	350 - 400		3	100 - 140

**PROPIEDADES FÍSICAS TÍPICAS (a temperatura ambiente de 20°C)**

Módulo elástico N/mm <sup>2</sup>	Peso específico g/cm <sup>3</sup>	Intervalo de fusión °C	Coefficiente de dilatación lineal 1/10 <sup>6</sup> K	Conductividad térmica W/m K	Resistividad eléctrica a 20°C - μ(Ω) cm	Conductividad eléctrica % IACS	Potencial de disolución V
71.000	2,78	485 - 640	23,6	13 - 16	-	17 - 23	-

**APTITUDES TECNOLÓGICAS**

<b>SOLDADURA:</b> A la llama <span style="color:red">■</span> Al arco bajo gas argón <span style="color:yellow">■</span> Por resistencia eléctrica <span style="color:green">■</span> Braseado <span style="color:red">■</span>	<b>ANODIZADO:</b> De protección <span style="color:green">■</span> Decorativo <span style="color:red">■</span> Anodizado duro <span style="color:green">■</span>	<b>MECANIZACIÓN:</b> Estado 0 <span style="color:green">■</span> Estado T651 <span style="color:red">■</span>
<b>COMPORTAMIENTO NATURAL:</b> En ambiente rural <span style="color:green">■</span> En ambiente industrial <span style="color:yellow">■</span> En ambiente marino <span style="color:red">■</span> En agua de mar <span style="color:red">■</span>	<b>RECUBRIMIENTO:</b> Lacado <span style="color:yellow">■</span> Galvanizado <span style="color:yellow">■</span> Níquel químico <span style="color:green">■</span> Cromo duro <span style="color:green">■</span>	Aleación para uso alimenticio: <b>NO</b> <span style="color:red">■</span>

■ Muy buena.  
■ Buena.  
■ Regular.  
■ Mala, evitar.

**APLICACIONES/OBSERVACIONES**

Esta aleación, con una excelente mecanibilidad, así como una buena estabilidad y características mecánicas, se utiliza para construcción de moldes bajo presión, inyección de materia plástica (botellas, recipientes, calzado), guías o soportes para diferentes utilajes.

Esta aleación presenta una excelente mecanibilidad, así como una buena estabilidad y características mecánicas.

Tras conocer un poco más en profundidad sus características, los más adecuados parecen el 2024 y el 6082. Ambos se sueldan bien en varias modalidades y sus límites elásticos a la temperatura de 25° son más elevados que los otros, por lo que por seguridad, se tomarán éstos para asegurar que las tensiones que se produzcan estarán bastante por debajo de la deformación plástica y que la estructura pueda absorber las tensiones que se produzcan sin necesidad de utilizar grandes espesores. Además, los dos están disponibles en chapas de diferentes espesores, entre los cuales están incluidos los espesores requeridos para nuestro modelo, así como tubos de los diámetros utilizados.

### **7.1.3 INFLUENCIA DE LOS TRATAMIENTOS EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS**

A continuación se hace un breve resumen de los tratamientos que se les puede aplicar a los aluminios para conseguir variar su propiedades en función de las características buscadas, las cuales serían especificadas una vez se fuera a fabricar el chasis en cuestión.

**Deformación en frío:** la resistencia a la tracción, el límite elástico 0,2% y la dureza aumentan por deformación en frío, mientras que el alargamiento a la rotura y la estricción a la rotura, disminuyen. El límite elástico 0,2% sube con la deformación en frío más fuertemente que la resistencia a la tracción, aproximándose cada vez más a esta de modo que se llega casi a una rotura por fragilidad sin deformación, lo que supone que la deformación en frío tiene sus limitaciones.

El comportamiento en cuanto al aumento de resistencia por deformación en frío depende de la composición. También juegan un papel importante el estado de la estructura antes de la deformación y el tipo de deformación, la velocidad y la temperatura de trabajo. Mediante la deformación en frío se pueden modificar también otras características como la conductividad eléctrica, que disminuye muy poco. La influencia de una deformación en frío sobre la resistencia a la corrosión es escasa.

**Ablandamiento:** mediante recocido a elevadas temperaturas se elimina la acritud en los metales deformados en frío, lo que supone, que el aumento de la resistencia conseguida con la deformación en frío, se puede aminorar en mayor o menor medida. Una eliminación total de la acritud hasta conseguir el estado inicial se produce cuando el recocido se realiza a temperaturas por encima del umbral de la recristalización. A temperaturas por debajo de este umbral aparece solamente una eliminación parcial del ablandamiento (regeneración).

El curso exacto de la curva de ablandamiento depende, además del material, muy fuertemente del nivel de la deformación en frío sufrida. Otras magnitudes que influyen son: el tiempo de recocido, la velocidad de calentamiento y el estado de la estructura

antes de la conformación, es decir, los tratamientos térmicos y mecánicos sufridos, a los que se le puede añadir el procedimiento de fundición que se haya seguido en el material de partida.

**Recocido de ablandamiento, estabilización:** el recocido de ablandamiento sirve para transformar materiales a un estado de resistencia muy baja y alto alargamiento. Se realiza de ordinario para facilitar trabajos de conformación o para hacerlos posible. En los materiales endurecidos en frío, el recocido de ablandamiento consiste en un recocido de recristalización, teniéndose en cuenta el tamaño de grano, la duración del recocido, el nivel del grado de deformación en frío y los recocidos intermedios.

**Normalizado:** el normalizado sirve para la eliminación de tensiones propias, que pueden surgir debido a un rápido enfriamiento de las piezas al colarlas, por enfriamiento rápido después del proceso de endurecimiento o por trabajo mecánico. Debido a las tensiones propias, pueden producirse deformaciones en las piezas.

Las temperaturas a aplicar en el normalizado térmico son relativamente bajas, ya que de otro modo hay que contar con una merma de la resistencia mecánica no tolerable.

El tratamiento de normalizado es tanto más activo cuando más alta es la temperatura y más largo el tiempo de recocido, aunque deben tenerse en cuenta las posibles modificaciones permanentes de las propiedades del material. El normalizado debe realizarse siempre antes de mecanizar la pieza o al menos antes de la última operación, debido a que está ligada a una deformación permanente.

**Recocido total, homogeneización:** con los recocidos totales se pretende conseguir una eliminación de las tensiones propias del producto fundido, un equilibrio de los granos segregados y una disolución de los constituyentes estructurales eutécticos en los bordes de los mismos. Además el recocido total sirve con frecuencia para conseguir una disgregación regular de elementos disueltos en estado de sobresaturación, especialmente Mn y Fe, que influyen sobre el comportamiento en la recristalización y en la conformabilidad en caliente. Finalmente en las aleaciones endurecibles se consigue disolver los elementos de aleación que provocan el endurecimiento. Estos se depositan de nuevo, en el siguiente enfriamiento, que no suele ser rápido. Además si se realiza correctamente el proceso, la distribución tiene lugar de tal forma que, mediante un temple posterior, la disolución tiene lugar de forma rápida y total.

El recocido total puede colaborar, por lo tanto, a la disminución de las fuerzas necesarias para la conformación en caliente, a una tendencia hacia el ablandamiento uniforme y recocido de ablandamiento y a un mejoramiento de la conformabilidad en frío.



**Endurecimiento por precipitación:** es el tratamiento térmico más importante que se aplica a las aleaciones de aluminio. Este tratamiento eleva notablemente la resistencia mecánica de las aleaciones de aluminio endurecibles por tratamiento térmico. El endurecimiento por precipitación tiene lugar, fundamentalmente en tres fases:

1. Por calentamiento a temperatura elevada se disuelven en la solución sólida de aluminio la mayor parte de los componentes de la aleación que provocan el endurecimiento (recocido de disolución).
2. Por enfriamiento rápido, la solución sólida, enriquecida en estos componentes de la aleación se transforma, en primer lugar, en un estado sobresaturado (temple).
3. Por permanencia, a la temperatura ambiente o a una temperatura más elevada, se producen precipitaciones de la solución sólida sobresaturada, que provocan un aumento de la resistencia a la tracción, del límite elástico 0,2% y de la dureza (envejecimiento o maduración).

## 7.2 PROCESOS DE FABRICACIÓN DEL CHASIS

El chasis puede ser fabricado mediante distintos procesos, los cuales se presentan a continuación.

### 7.2.1 EXTRUSIÓN

La extrusión es un proceso tecnológico que consiste en dar forma o moldear una masa haciéndola salir por una abertura especialmente dispuesta para conseguir perfiles de diseño complicado. Se consigue mediante la utilización de un flujo continuo de la materia prima, generalmente productos metalúrgicos o plásticos. Las materias primas se someten a fusión, transporte, presión y deformación a través de un molde según sea el perfil que se quiera obtener.

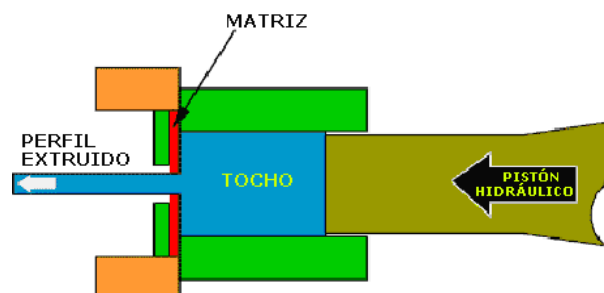


Figura 7.1- Proceso de extrusión

El aluminio, debido a sus propiedades, es uno de los metales que más se utiliza para producir variados y complicados tipos de perfiles que se usan principalmente en las construcciones de carpintería metálica. Se puede extruir tanto aluminio primario como secundario obtenido mediante reciclado.

Para realizar la extrusión, la materia prima, se suministra en lingotes cilíndricos también llamados “tochos”. El proceso de extrusión consiste en aplicar una presión al cilindro de aluminio (tocho) haciéndolo pasar por un molde (matriz), para conseguir la forma deseada. Cada tipo de perfil, posee un “molde” llamado matriz adecuado, que es el que determinará su forma.

El tocho es calentado (aproximadamente a 500 °C, temperatura en que el aluminio alcanza un estado plástico) para facilitar su paso por la matriz, y es introducido en la prensa. Luego, la base del tocho es sometida a una llama de combustión incompleta, para generar una capa fina de carbono. Esta capa evita que el émbolo de la prensa quede pegado al mismo. La prensa se cierra, y un émbolo comienza a empujar el tocho a la presión necesaria, de acuerdo con las dimensiones del perfil, obligándolo a salir por la boca de la matriz. La gran presión a la que se ve sometido el aluminio hace que este eleve su temperatura ganando en maleabilidad.

Los componentes principales de una instalación de extrusión son: el contenedor donde se coloca el tocho para extrusión bajo presión, el cilindro principal con pistón que prensa el material a través del contenedor, la matriz y el portamatriz.

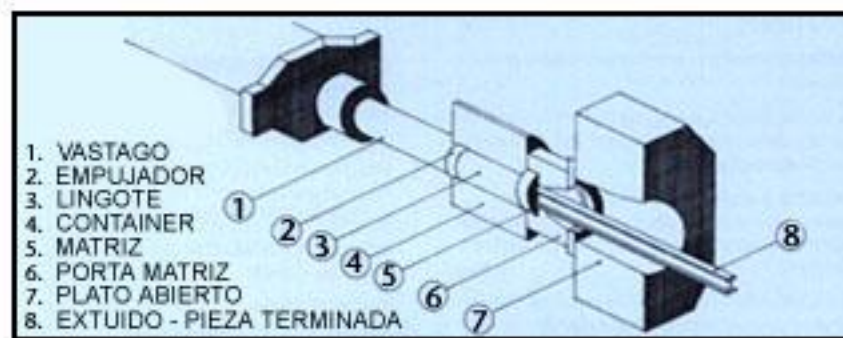


Figura 7.2- Partes de una instalación

Del proceso de extrusión y temple, dependen gran parte de las características mecánicas de los perfiles, así como la calidad en los acabados, sobre todo en los anodizados. El temple, en una aleación de aluminio, se produce por efecto mecánico o térmico, creando estructuras y propiedades mecánicas características.

- **Acabado del extrusionado**

A medida que los perfiles extrusionados van saliendo de la prensa a través de la matriz, se deslizan sobre una bancada donde se les enfría con aire o agua, en función de

su tamaño y forma, así como las características de la aleación involucrada y las propiedades requeridas. Para obtener perfiles de aluminio rectos y eliminar cualquier tensión en el material, se les estira. Luego, se cortan en longitudes adecuadas y se envejecen artificialmente para lograr la resistencia apropiada. El envejecimiento se realiza en hornos a unos 200 °C y están en el horno durante un periodo que varía entre 4 a 8 horas. Todo este proceso se realiza de forma automatizada.

## 7.2.2 FUNDICIÓN DE PIEZAS

La fundición de piezas consiste fundamentalmente en llenar un molde con la cantidad de metal fundido requerido por las dimensiones de la pieza a fundir, para que después de la solidificación, obtener la pieza que tiene el tamaño y la forma del molde.

Existen tres tipos de procesos de fundición diferenciados aplicados al aluminio:

- **Fundición en molde de arena**
- **Fundición en molde metálico**
- **Fundición por presión o inyección.**

En el proceso de fundición con molde de arena se hace el molde en arena consolidada por un apisonado manual o mecánico alrededor de un molde, el cual es extraído antes de recibir el metal fundido. A continuación se vierte la colada y cuando solidifica se destruye el molde y se granalla la pieza. Este método de fundición es normalmente elegido para la producción de:

- Cantidades pequeñas de piezas fundidas idénticas
- Piezas fundidas complejas con núcleos complicados
- Piezas estructurales fundidas de gran tamaño.

La fundición en moldes metálicos permanentes llamados coquillas, sirve para obtener mayores producciones. En este método se vierte la colada del metal fundido en un molde metálico permanente bajo gravedad y bajo presión centrífuga. Las piezas fundidas así tienen una estructura de grano más fino, y son más resistentes que las piezas fundidas con moldes de arena, debido a que la velocidad de enfriamiento es más rápida. Además, las piezas fundidas en molde permanente poseen generalmente menores contracciones y porosidad que las piezas fundidas en arena. Sin embargo, los moldes permanentes tienen limitaciones de tamaño, y para piezas complejas porque puede resultar caro, difícil o imposible fundirlas por moldeo.

En el método de fundición por inyección a presión se funden piezas idénticas al máximo ritmo de producción forzando el metal fundido bajo grandes presiones en los

moldes metálicos. Las dos partes de la matriz de metal son engatilladas de forma segura para poder resistir la alta presión. El aluminio fundido es obligado a repartirse por las cavidades de la matriz. Cuando el metal se ha solidificado, las matrices son desbloqueadas y abiertas para extraer la pieza fundida caliente.

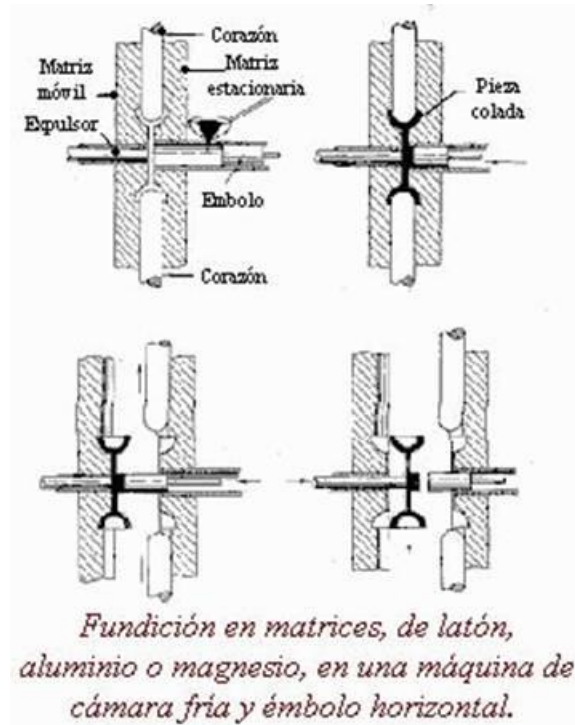


Figura 7.3- Proceso de fundición

Las ventajas de la fundición a presión son:

1. Las piezas están casi acabadas y pueden producirse a un alto ritmo.
2. Las tolerancias adimensionales de cada parte de la pieza fundida pueden ser mantenidas más sólidamente.
3. Es posible la obtención de superficies suaves.
4. El proceso puede ser automatizado.

Mediante el sistema de fundición adecuado se pueden fundir piezas que puede variar desde pequeñas piezas de prótesis dental, con peso de gramos, hasta los grandes bastidores de máquinas de varias toneladas, de forma variada, sencilla o complicada, que son imposibles de fabricar por otros procedimiento convencionales, como forja, laminación, etc.

El proceso de fundición se puede esquematizar de la siguiente manera:

- Diseño del modelo original de la pieza a fundir

- Elaboración del tipo de modelo diseñado
- Fusión del material a fundir
- Inserción de la colada en el molde
- Solidificación de la pieza
- Limpieza de la superficie con procesos vibratorio o de granallado.

Las aleaciones de aluminio para fundición han sido desarrolladas habida cuenta de que proporcionan calidades de fundición idóneas, como fluidez y capacidad de alimentación, así como valores optimizados para propiedades como resistencia a la tensión, ductilidad y resistencia a la corrosión. Difieren bastante de las aleaciones para forja. El silicio en un rango entre el 5 al 12% es el elemento aleante más importante porque promueve un aumento de la fluidez en los metales fundidos. En menores cantidades se añade magnesio, o cobre con el fin de aumentar la resistencia de las piezas.

### 7.2.3 MECANIZADO

El mecanizado del aluminio y sus aleaciones en máquinas herramientas de arranque de virutas en general, es fácil y rápido y está dando paso a una nueva concepción del mecanizado denominada genéricamente mecanizado rápido. Durante el arranque de viruta, las fuerzas de corte que tienen lugar son considerablemente menores que en el caso de las generadas con el acero (la fuerza necesaria para el mecanizado del aluminio es aproximadamente un 30% de la necesaria para mecanizar acero). Por consiguiente, los esfuerzos sobre los útiles y herramientas así como la energía consumida en el proceso es menor para el arranque de un volumen igual de viruta.



*Figura 7.4- Centro de Mecanizado vertical de perfiles de aluminio*

El concepto de mecanizado rápido se refiere al que se produce en las modernas máquinas herramientas de Control Numérico con cabezales potentes y robustos que les permiten girar a muchos miles de revoluciones por minuto hasta del orden de 30.000 rpm, y avances de trabajo muy grandes cuando se trata del mecanizado de materiales blandos y con mucho vaciado de viruta tal y como ocurre en la fabricación de moldes o de grandes componentes de la industria aeronáutica.

El aluminio tiene unas excelentes características de conductividad térmica, lo cual es una importante ventaja, dado que permite que el calor generado en el mecanizado se disipe con rapidez. Su baja densidad hace que las fuerzas de inercia en la piezas de aluminio giratorio (torneados) sean así mismo mucho menores que en otros materiales.

Ocurre, sin embargo, que el coeficiente de fricción entre el aluminio y los metales de corte es, comparativamente con otros metales, elevado. Este hecho unido a su baja resistencia hace que se comporte como plastilina, pudiendo causar el embotamiento de los filos de corte, deteriorando la calidad de la superficie mecanizada a bajas velocidades de corte e incluso a elevadas velocidades con refrigeración insuficiente. Siempre que la refrigeración en el corte sea suficiente, hay una menor tendencia al embotamiento con aleaciones más duras, con velocidades de corte mayores y con ángulos de desprendimiento mayores.

El desarrollo del mecanizado rápido permite que muchas piezas complejas no sea necesario fundirlas previamente sino que se mecanicen a partir de unos prismas a los cuales se les realiza todo el vaciado que sea necesario.

El mecanizado rápido puede representar una reducción de costes en torno al 60%. En este tipo de mecanizado rápido se torna crítico la selección de las herramientas y los parámetros de corte. La adopción del mecanizado de alta velocidad es un proceso difícil para el fabricante, ya que requiere cambios importantes en la planta, una costosa inversión en maquinaria y software, además de una formación cualificada del personal.

- ***Herramientas de corte***

Para el mecanizado rápido que se realiza en las máquinas herramientas de Control Numérico es conveniente que se utilicen herramientas especiales para el mecanizado del aluminio. Se distinguen de las empleadas en el mecanizado del acero en que tienen mayores ángulos de desprendimiento y un mayor espacio para la evacuación de la viruta, así como unos rebajes para que la viruta fluya mejor. La mayoría de las herramientas de filo múltiple como por ejemplo las fresas, tienen pocos dientes.

Hay tres grandes familias de herramientas de corte para el mecanizado del aluminio:

○ **Acero rápido (HSS)**

Las herramientas de acero rápido son apropiadas para el mecanizado de aleaciones de aluminio con bajo contenido en silicio. Permite el uso de grandes ángulos de desprendimiento para obtener unas mejores condiciones de corte. El acero rápido es más económico que el metal duro cuando la maquinaria de que se dispone no permite el uso de las velocidades de corte alcanzables con el carburo metálico. En el mecanizado de aluminios con elevado contenido de silicio el desgaste de este tipo de herramientas se acelera. Estas herramientas se utilizan principalmente en la industria de carpintería metálica para el mecanizado de perfiles extrusionados.



*Figura 7.5- Fresas HSS*

○ **Metal duro (carburos metálicos) (widia)**

Las herramientas de metal duro (widia) ofrecen la ventaja de una mayor duración de la herramienta. Se emplean en el mecanizado de aluminios con elevado contenido en silicio así como para los mecanizados a altas velocidades de corte. Las fundiciones de aluminio, con la presencia de cristales de silicio de elevada dureza requieren obligatoriamente el uso de herramientas de carburo metálico. Dentro de los carburos metálicos los distintos fabricantes tienen distintas gamas y calidades, en función de las condiciones de corte requeridas.



*Figura 7.6- Fresa WIDIA*

○ ***Diamante***

Las herramientas de diamante se caracterizan por su elevada duración, incluso si se emplean en el mecanizado de aleaciones con un elevado contenido en silicio. Suelen emplearse para trabajos de mecanizado en piezas que generen mucha viruta.



*Figura 7.7- Fresas de Diamante*

▪ ***Refrigeración del mecanizado***

Como lubricante de corte para el aluminio es recomendable que se utilicen productos emulsionables en agua con aditivos de lubricación específicamente formulados a tal fin que estén exentos de compuestos en base cloro y azufre. La lubricación se utiliza en operaciones de taladrado, torneado, fresado, brochado, escariado y deformación.

▪ ***Mecanizado por electroerosión***

Las aleaciones de aluminio permiten su mecanizado por procedimientos de electroerosión que es un método inventado para el mecanizado de piezas complejas. No obstante, este método no es del todo adecuado para el aluminio, pues su elevada conductividad térmica reducen notablemente la velocidad de eliminación del material, ya de por sí bastante lenta para este método.

Se conoce como electroerosión a un proceso de mecanizado que utiliza la energía suministrada a través de descargas eléctricas entre dos electrodos para eliminar material de la pieza de trabajo, siendo ésta uno de los electrodos.<sup>23</sup> Al electrodo que hace las funciones de herramienta se le suele denominar simplemente electrodo mientras que al electrodo sobre el cual se desea llevar a cabo el arranque se le conoce como pieza de trabajo. Este sistema permite obtener componentes con tolerancias muy ajustadas a partir de los nuevos materiales que se diseñan.

## **7.2.4 DOBLADO**

El aluminio se presenta en el mercado en diversas formas, ya sean estas barras con diversos perfiles u hojas de varios tamaños y grosores entre otras. Cuando se trabaja con aluminio, específicamente en crear algún doblez en una hoja, o en una parte de ésta, es importante considerar la dirección del grano; esto significa que la composición en el



metal, después de haber sido fabricado, ha tomado una tendencia direccional en su microestructura, mostrando así una mayor longitud hacia una dirección que hacia otra. Así es que el aluminio puede quebrarse si la dirección del grano no es considerada al crear algún doblado, o si el doblado es creado con un radio demasiado pequeño, el cual sobrepase la integridad elástica del tipo de aluminio.



*Figura 7.8- Dobladora hidráulica de cortina CNC*

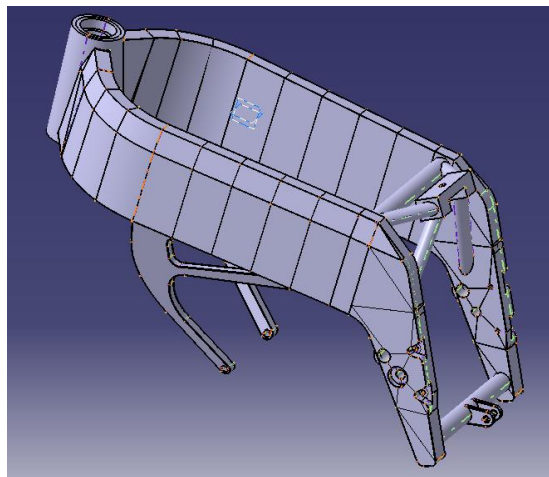


*Figura 7.9- Curvadora de perfiles*

Una vez vistos los métodos más frecuentes para trabajar con el aluminio, deberá decirse que los más adecuados para realizar el chasis de doble viga son el doblado y el mecanizado. Aunque este último puede resultar muy caro, por lo que se utilizaría el doblado de las chapas exteriores y la unión de éstas con los nervios, tubos y demás, se realizará mediante soldadura, como puede ser la TIG.

## 8 MODELO FINAL EN DETALLE

Una vez llegados a este punto vamos a realizar una visión completa del chasis de la motocicleta. Se comenzará por la parte delantera, es decir, desde la pipa, hasta la viga cajón, donde se encuentran las uniones con el basculante y el amortiguador trasero.



*Figura 8.1-Vista del chasis*

La **pipa de dirección** es un cilindro al cual se sueldan las chapas de las vigas centrales, su interior será mecanizado de forma que se puedan alojar unos rodamientos y se permita el paso del eje de la dirección.

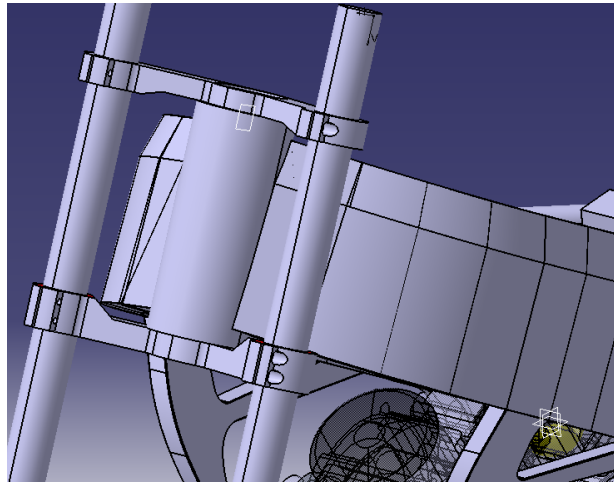


Figura 8.2-Vista de la pipa de dirección

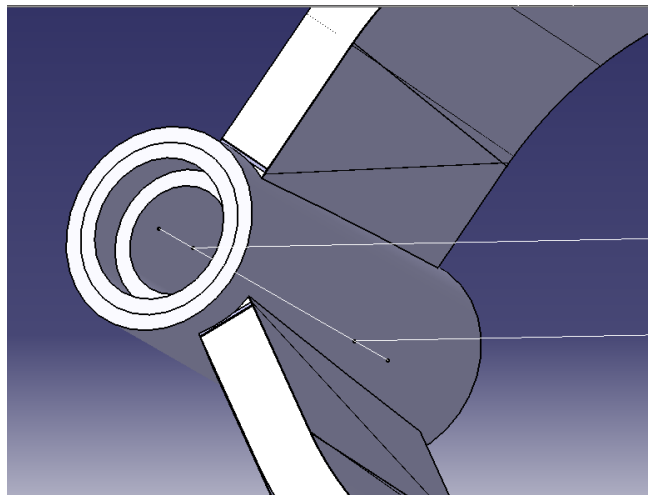


Figura 8.3-Vista superior de la pipa de dirección

La elección de esta solución es debida a su facilidad de fabricación y a su rigidez. Las demás soluciones permitían una entrada más directa del aire al airbox, pero se perdía rigidez, de manera que los beneficios que aportaban no eran suficientes como para llevarlos a cabo.

Las dos *vigas centrales* son simétricas, con un perfil que comienza vertical en la parte inferior y se inclina a medida que se acerca a la chapa superior. Es hueco para reducir peso, pero en su interior lleva nervios separados de manera que puedan soportar las tensiones. En la zona más cercana a la pipa, los nervios se encuentran más juntos. Se une a la viga cajón mediante soldadura.

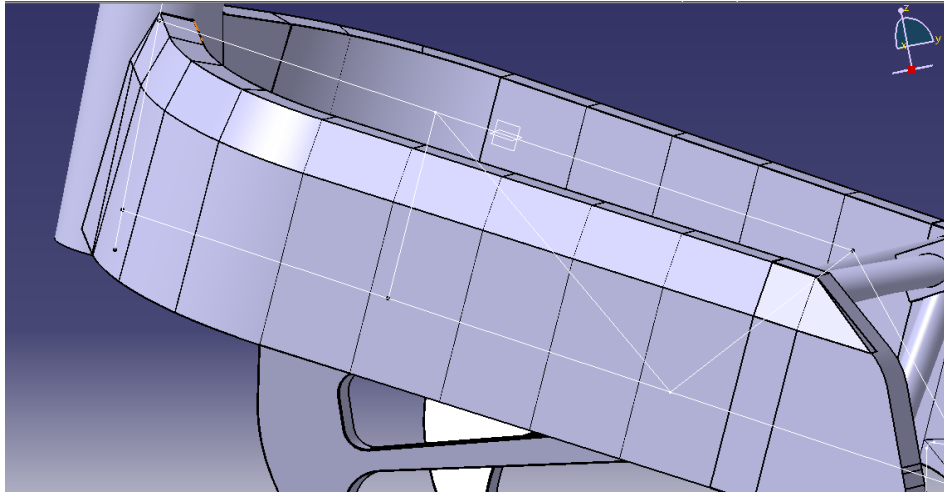


Figura 8.4-Vista lateral de las vigas centrales

Para el **anclaje del basculante** se optó por utilizar una viga cajón, que también es hueca, pero va reforzada con nervios que se encargan de unir tanto los ejes como las paredes. Esta solución nos aporta mayor rigidez en una zona donde las cargas son elevadas además de una fabricación más económica que realizando mecanizados para conseguir vaciados en una pieza maciza de aluminio. Además, y un punto muy importante, es que se disminuye el peso considerablemente, al no tener una pieza maciza de 30 mm, sino unos espesores de 5 y 7 mm.

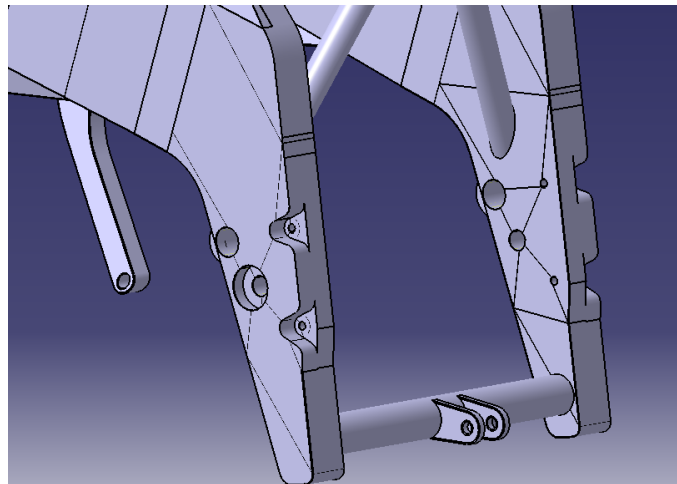


Figura 8.5-Anclaje del basculante

Como podemos ver en la imagen anterior esta pieza nos permite situar sobre ella los múltiples anclajes necesarios, los cuales son ejes fijos. Esto se debe a que mediante el anclaje del amortiguador trasero podremos variar la geometría de la motocicleta, por lo tanto, esta zona se simplifica.

Para anclar el motor por la parte de atrás, ya que va unido por dos parte al chasis, será utilizado un eje secundario que permitirá situar el motor de la forma que interese para poder ensamblar todos los elementos y para jugar con el centro de gravedad.

En cuanto a la **unión con el motor**, se diseñó una única pieza que pudiese unir las vigas centrales con el motor directamente mediante un eje. Observando los resultados de los ensayos realizados se comprobó que es capaz de soportar las tensiones debidas al peso y a los momentos de reacción producidos en el motor.

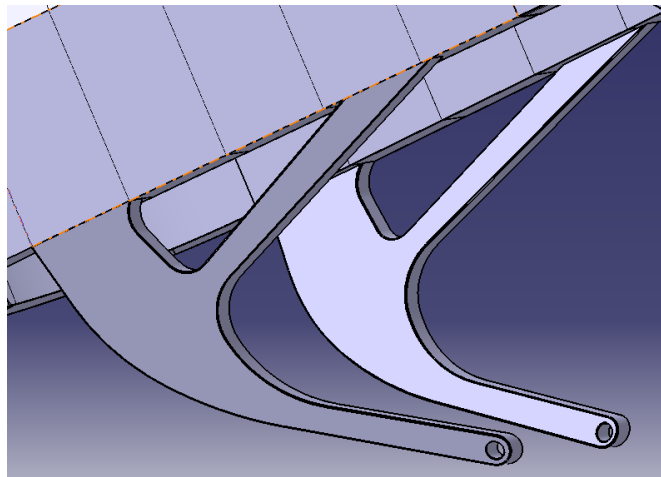


Figura 8.6-Unión con el motor

Lo que se busca en el diseño de este elemento conseguir una estructura rígida y un bajo peso siendo capaz de soportar las tensiones producidas por las reacciones en el motor.

Por lo tanto el motor quedará anclado en el chasis de la siguiente manera.

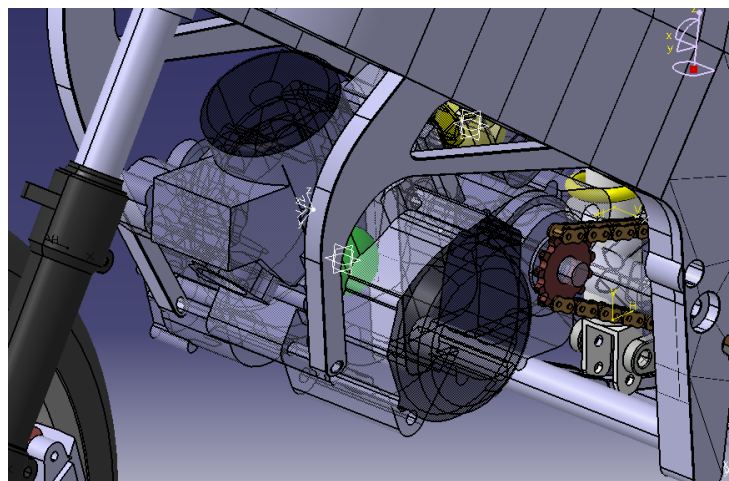


Figura 8.7-Motor anclado sobre el chasis

La solución que se ha adoptado para el anclaje del *tirante del amortiguador* es un único tirante que se soldará al tubo que une las dos vigas cajón.

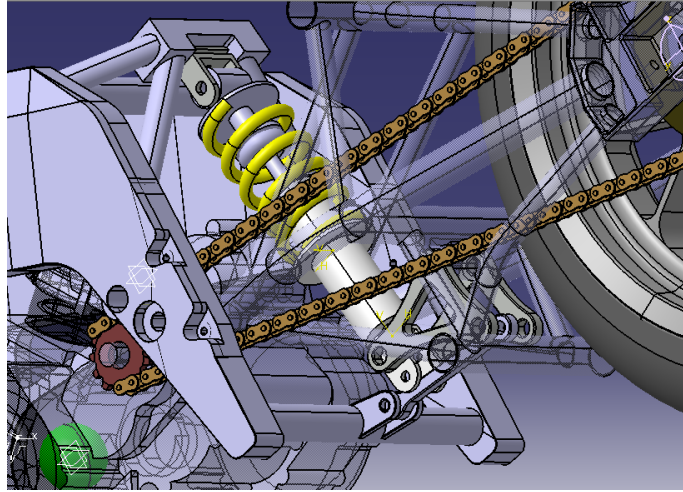


Figura 8.8-Tirantes del amortiguador trasero

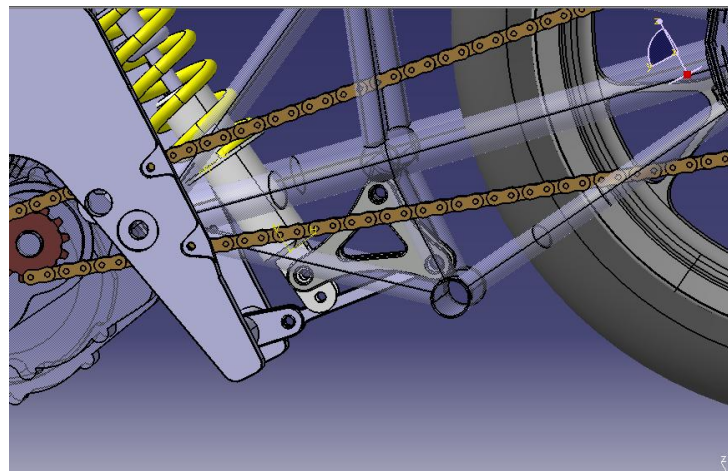
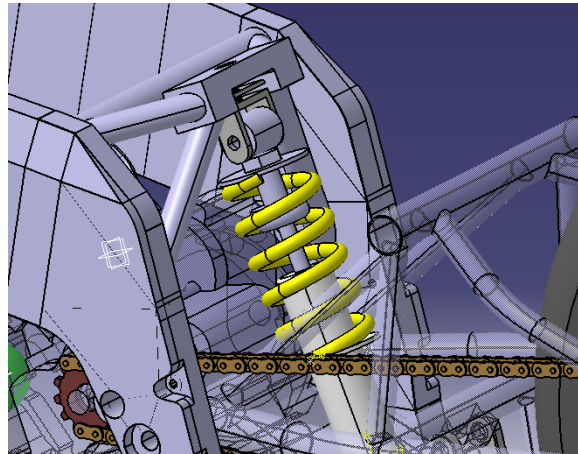


Figura 8.9-Anclaje de los tirantes del amortiguador

El *anclaje del amortiguador* será de la siguiente manera.

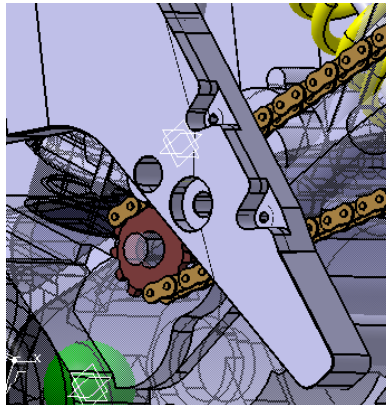


*Figura 8.10-Anclaje del amortiguador*

Este anclaje está diseñado para poder introducir un mecanismo que permita variar la altura a la que se sitúa el amortiguador. Así será posible realizar modificaciones en circuito de manera sencilla y rápida variando la geometría de la motocicleta.

Los *anclajes auxiliares* de elementos de poco peso se soldarán sobre el chasis fabricado una vez se encuentren diseñados.

El anclaje de las estriberas se realizará sobre la viga cajón que ancla el eje del basculante. El diseño de estas todavía no se ha realizado pero sus anclajes sobre el chasis serán de la siguiente forma.



*Figura 8.11-Anclajes de las estriberas*

Y por último, se mostrará toda la moto ensamblada.

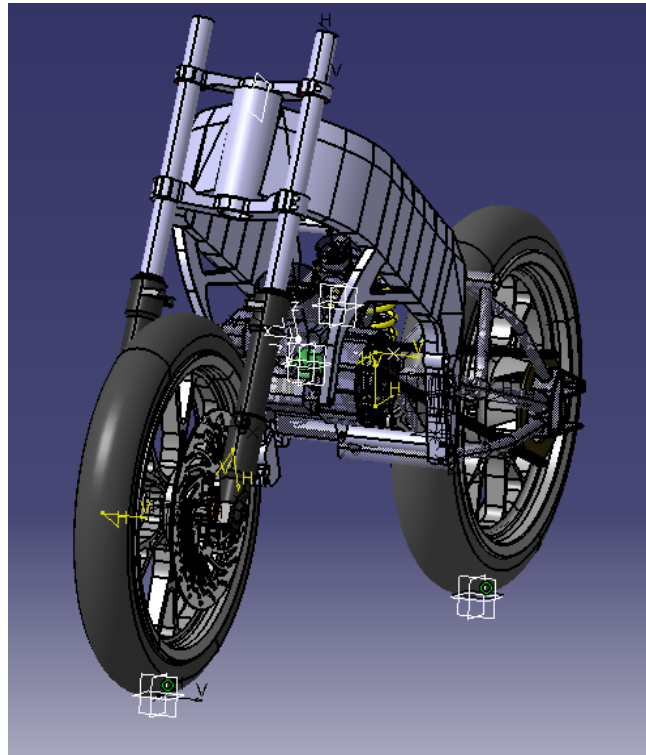


Figura 8.12-Vista frontal

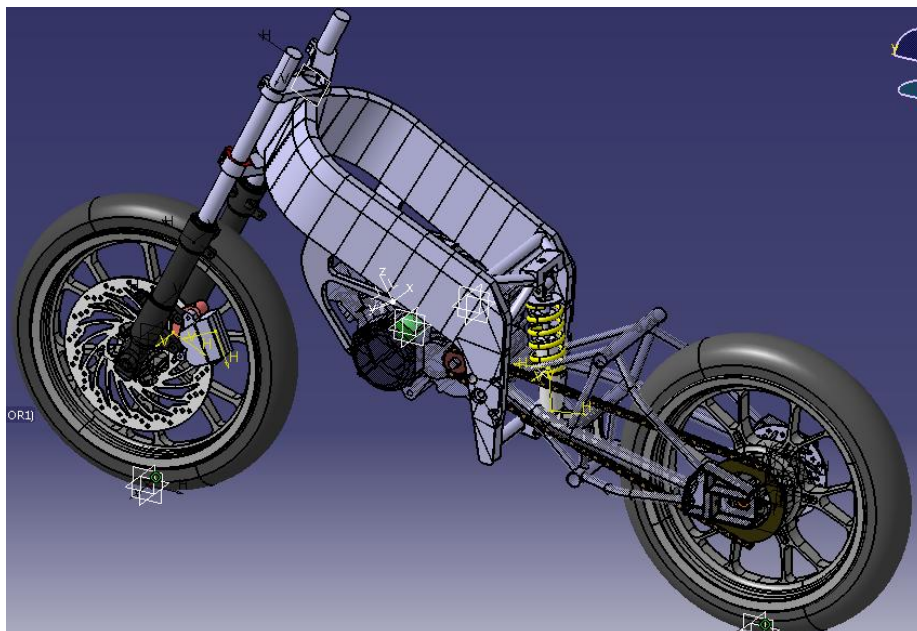
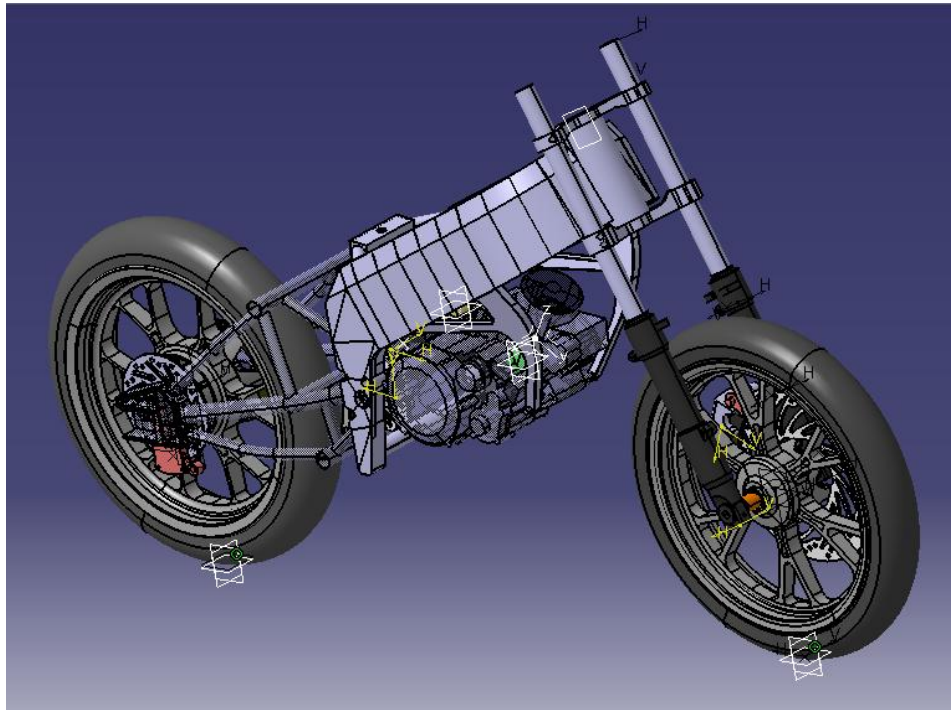


Figura 8.13-Vista lateral trasera





*Figura 8.14-Vista lateral*

## 9 CONCLUSIÓN

Uno de los objetivos de este proyecto era diseñar un chasis alternativo al realizado por otro miembro del equipo en acero que proporcionara las óptimas prestaciones a una motocicleta de dos tiempos de 125cc, en vistas a la participación en la competición Motostudent. A lo largo del proyecto se han ido desarrollado los distintos pasos para ir definiendo la geometría del chasis, hasta llegar al modelo final.

Para la realización de estos modelos han sido necesarios estudios preliminares, especialmente importantes los realizados acerca de la geometría óptima que aportara el mejor comportamiento en carrera. Otro punto imprescindible para el desarrollo del proyecto ha sido la búsqueda y estudio de los diferentes programas y alternativas de chasis, sin los cuales no hubiera sido posible su realización. Con ello, se ha conseguido el dominio de varios programas de diseño y análisis, que probablemente, serán de gran utilidad en el futuro.

Por otra parte, el estudio más interesante y que más conocimientos nuevos ha aportado ha sido el análisis mediante elementos finitos de las diferentes estructuras. Para llegar a optimizar el modelo se fueron realizando diferentes tests comparativos buscando siempre mejorar aquellas propiedades que se consideraban importantes. En primer lugar fue realizado un análisis para cotejar los modelos buscando optimizar la

geometría en función de las tensiones y desplazamientos. Posteriormente fue introducida una nueva variable, el peso, buscando de esta forma el diseño que mejor se ajustase a las necesidades. Por último, un análisis detallado de elementos finitos permitió estudiar aquellas zonas donde aparecían las mayores tensiones. Este último ensayo fue clave a la hora de la elección del material que será utilizado para la fabricación del chasis.

Aunque este diseño no va a ser fabricado en esta primera edición de Motostudent, se ha planteado como si se fuera a llevar a cabo. Sería realmente interesante comprobar cuáles son sus valores reales de tensiones y desplazamientos una vez que se encontrara soldado para así poder tener una relación entre los valores teóricos y los reales. No menos importante sería la opinión del piloto sobre el comportamiento del conjunto. Toda esta información permitiría ir optimizando los diferentes parámetros del chasis, tal y como hacen los equipos de motos, para conseguir los mejores resultados.

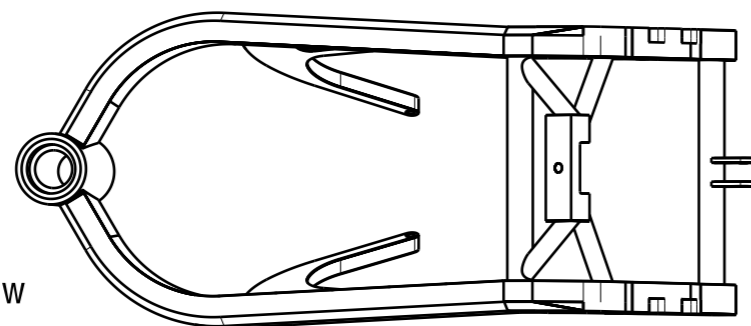
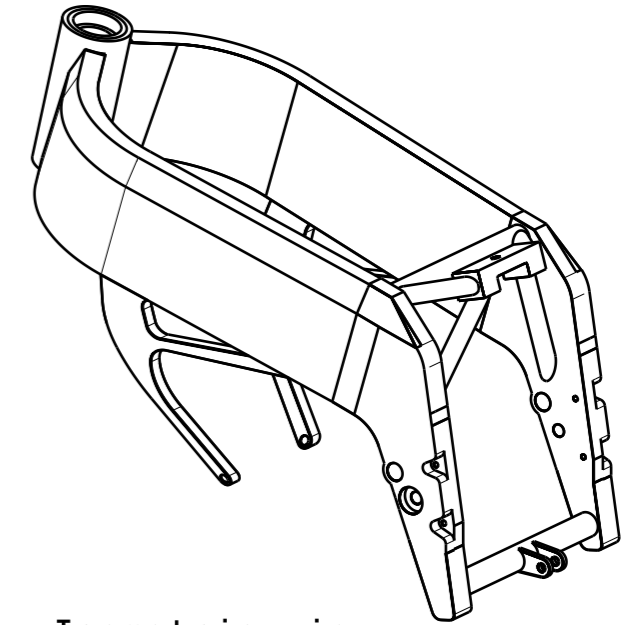
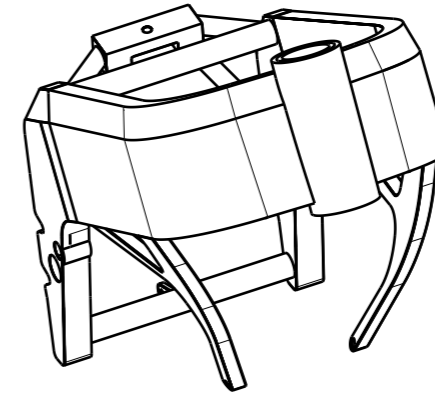
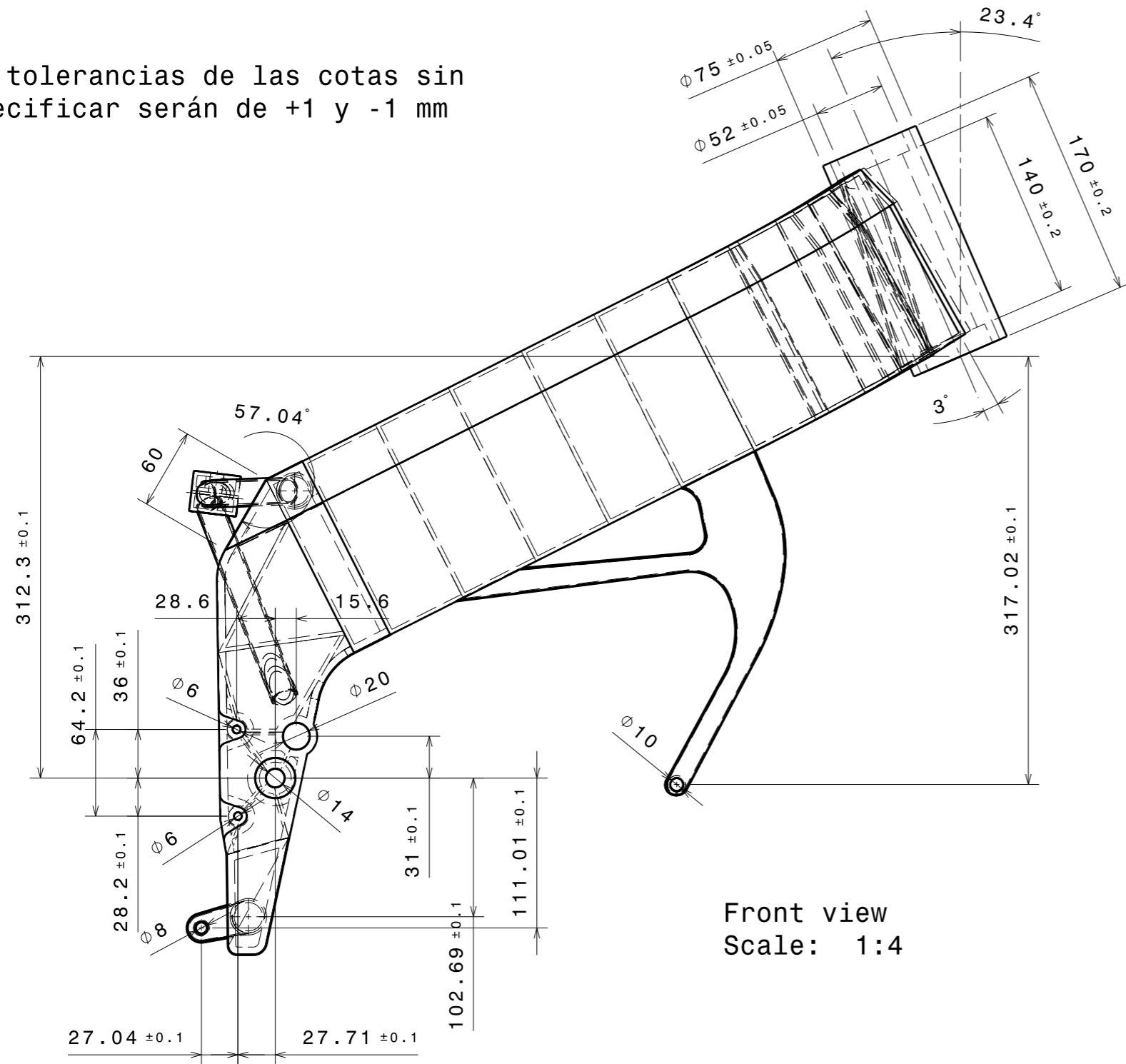
Como conclusión, puede decirse que ha sido un proyecto muy atractivo en el que se han aprendido muchos conceptos, sobre todo de análisis, diseño y del mundo de las motocicletas, lo cual suponía un reto importante como proyecto de ingeniería.

## 10 Bibliografía

- ❖ Motocicletas: Comportamiento dinámico y diseño de chasis- Tony Foale
- ❖ Motocicletas- Arias Paz
- ❖ Motocicletas Chasis- John Robinson
- ❖ Motorcycle dynamics – Vittore Cossalter
- ❖ The racing motorcycle: A technical guide for constructors – John Bradley
- ❖ Motorcycle design and technology handbook – Gaetano Cocco
- ❖ REGLAMENTO TÉCNICO. MotoStudent.
- ❖ INGENIERÍA DE MOTOCICLETAS. Cesar Diaz de Cerio y José Sancho. Apuntes formativos.
- ❖ REGLAMENTO FUNCIONAL. MotoStudent.
- ❖ [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)
- ❖ [www.google.com](http://www.google.com)
- ❖ [www.catiav5.com](http://www.catiav5.com)

## **PLANOS**

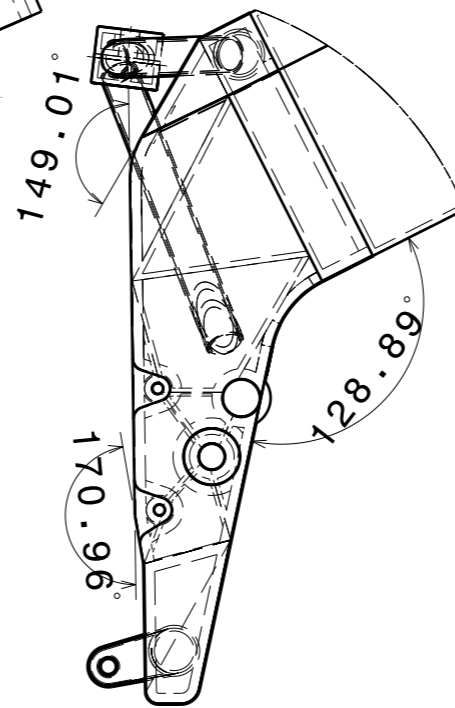
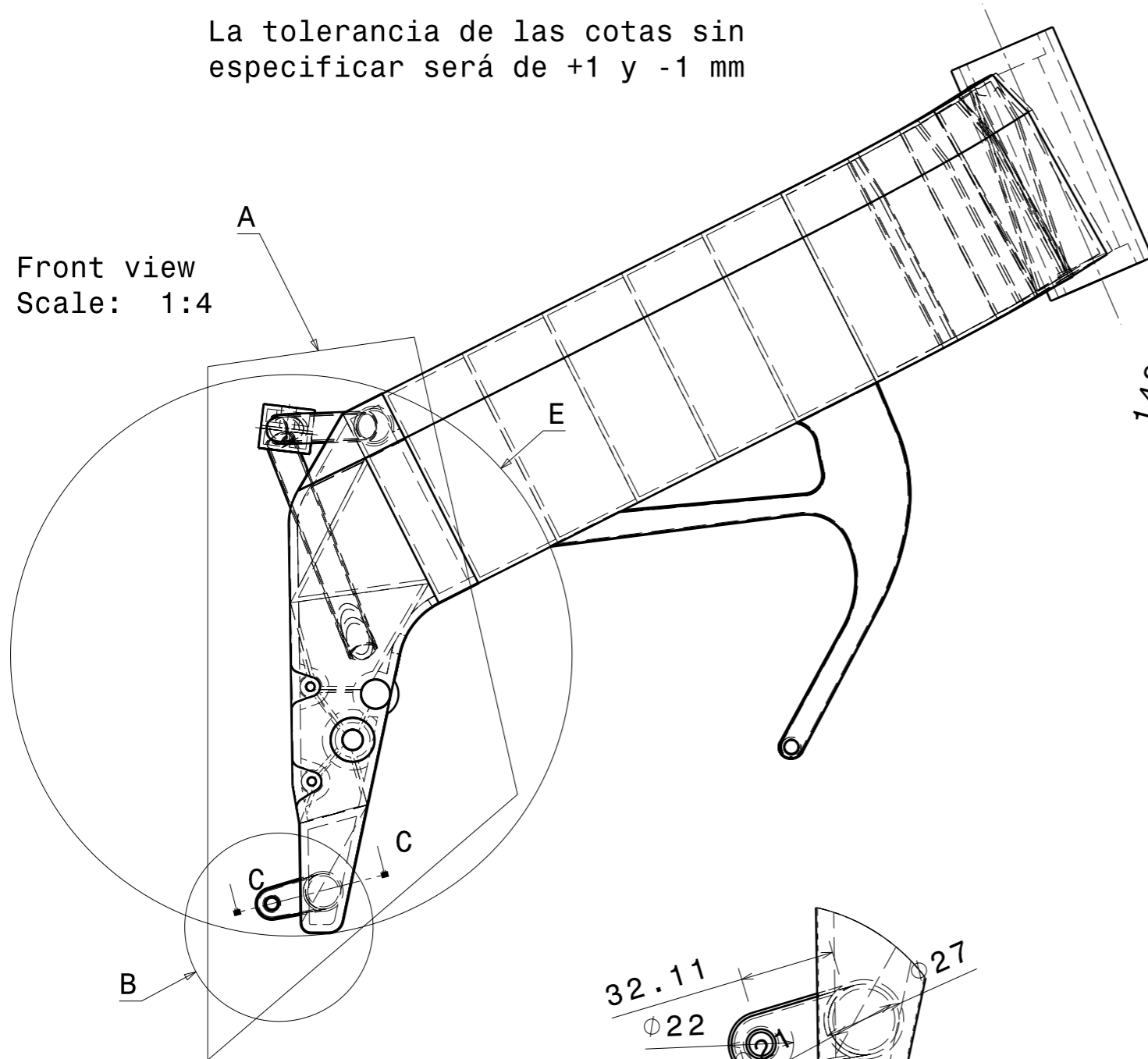
Las tolerancias de las cotas sin especificar serán de +1 y -1 mm



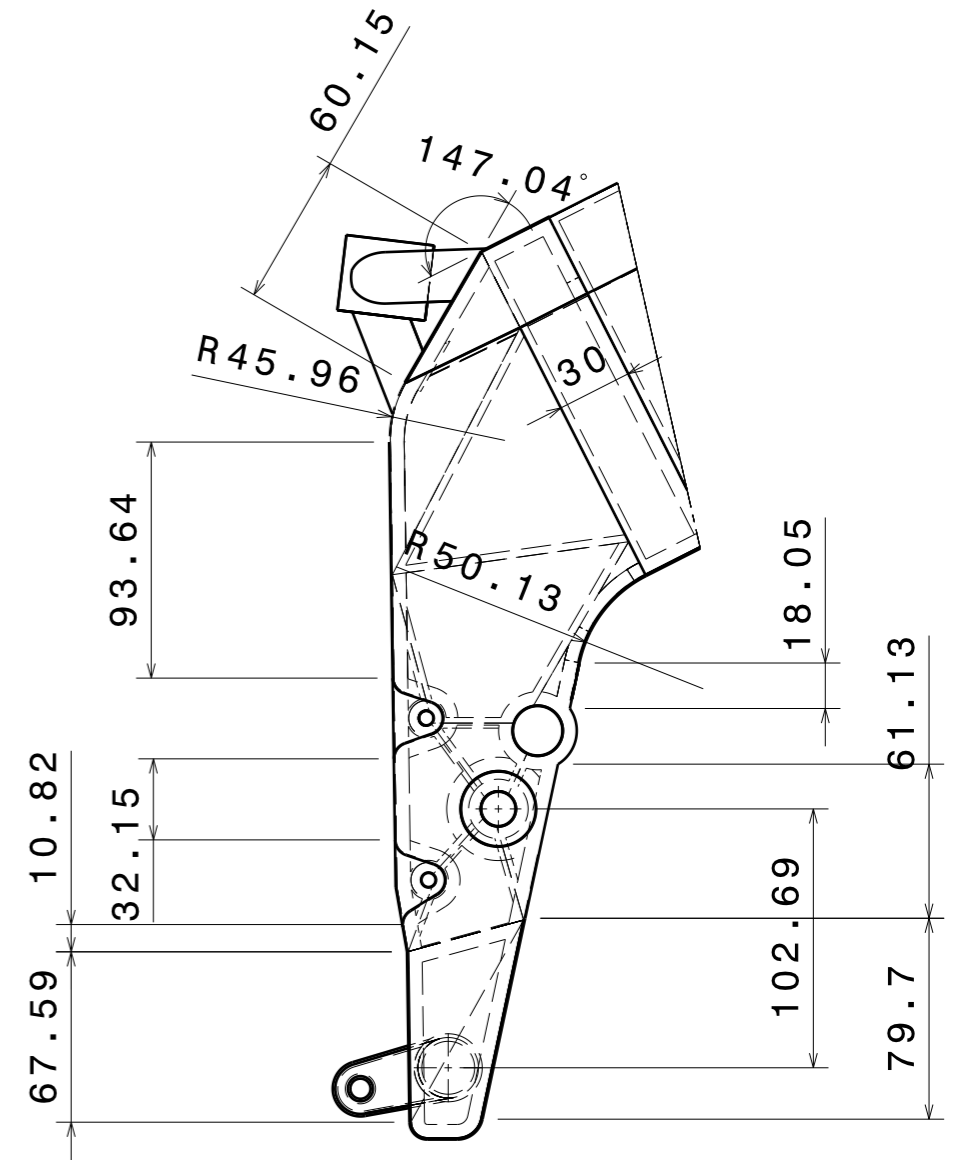
 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T	ESCUOLA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN			
	INGENIERO INDUSTRIAL	COBA ANTÓN, IRIA			
PROYECTO	DISEÑO DEL CHASIS DE UNA MOTOCICLETA DE COMPETICIÓN		FIRMA	REVISADO	APROBADO
PLANO	COTAS GENERALES		FECHA	ESCALA	Nº PLANO
			23/7/2010	1:4	1

La tolerancia de las cotas sin especificar será de +1 y -1 mm

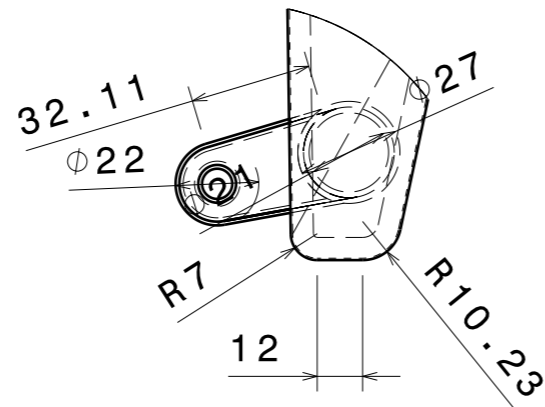
Front view  
Scale: 1:4



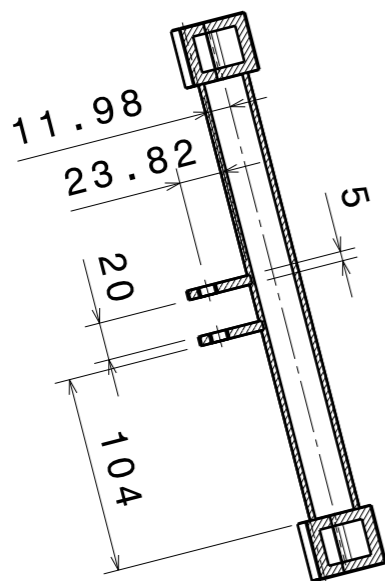
Detail E  
Scale: 1:4



Detail A  
Scale: 1:3



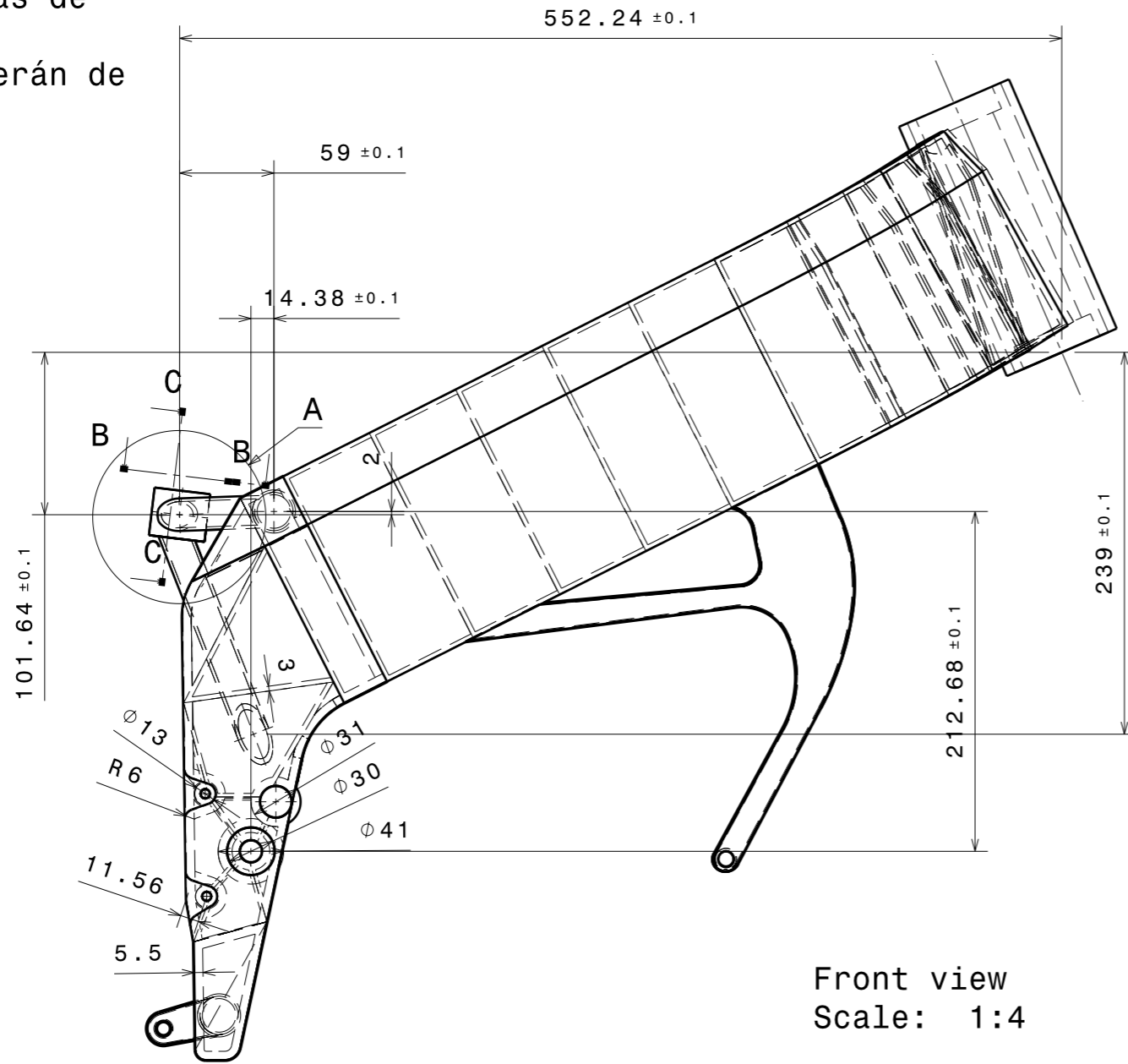
Detail B  
Scale: 1:2



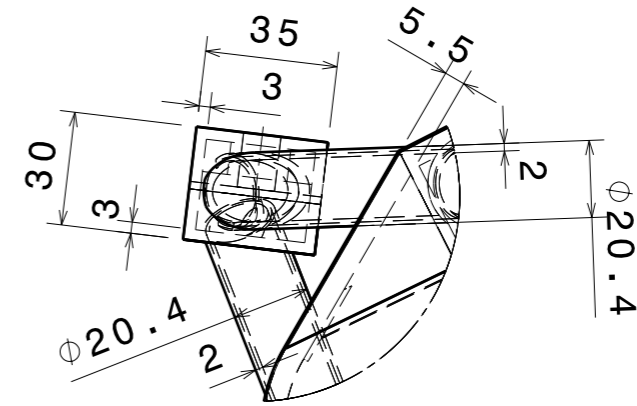
Section view C-C  
Scale: 1:4

	E.T.S.I.I.T	ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN		
	INGENIERO INDUSTRIAL	COBA ANTÓN, IRIA		
PROYECTO DISEÑO DEL CHASIS DE UNA MOTOCICLETA DE COMPETICIÓN	FIRMA		REVISADO	APROBADO
	PLANO VIGA CAJÓN, UNIÓN CON EL BASCULANTE		FECHA 23/7/2010	ESCALA 1:4

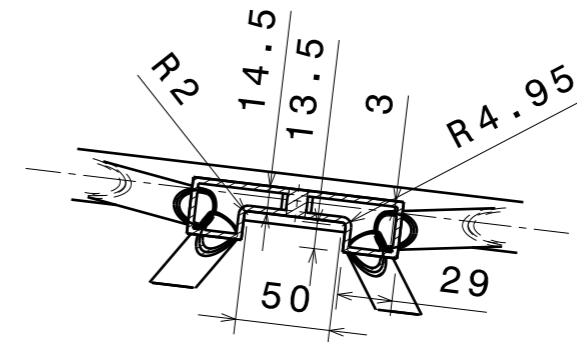
Las tolerancias de las cotas sin especificar serán de +1 y -1 mm



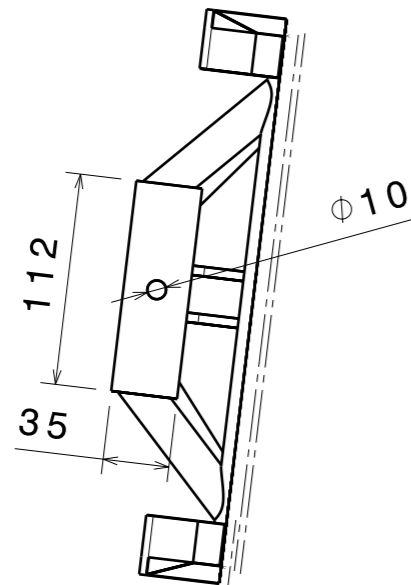
Front view  
Scale: 1:4



Detail A  
Scale: 1:2



Section view C-C  
Scale: 1:4



Section view B-B  
Scale: 1:4



E.T.S.I.I.T

INGENIERO INDUSTRIAL

ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

PROYECTO

DISEÑO DEL CHASIS DE UNA MOTOCICLETA DE COMPETICIÓN

COBA ANTÓN, IRIA

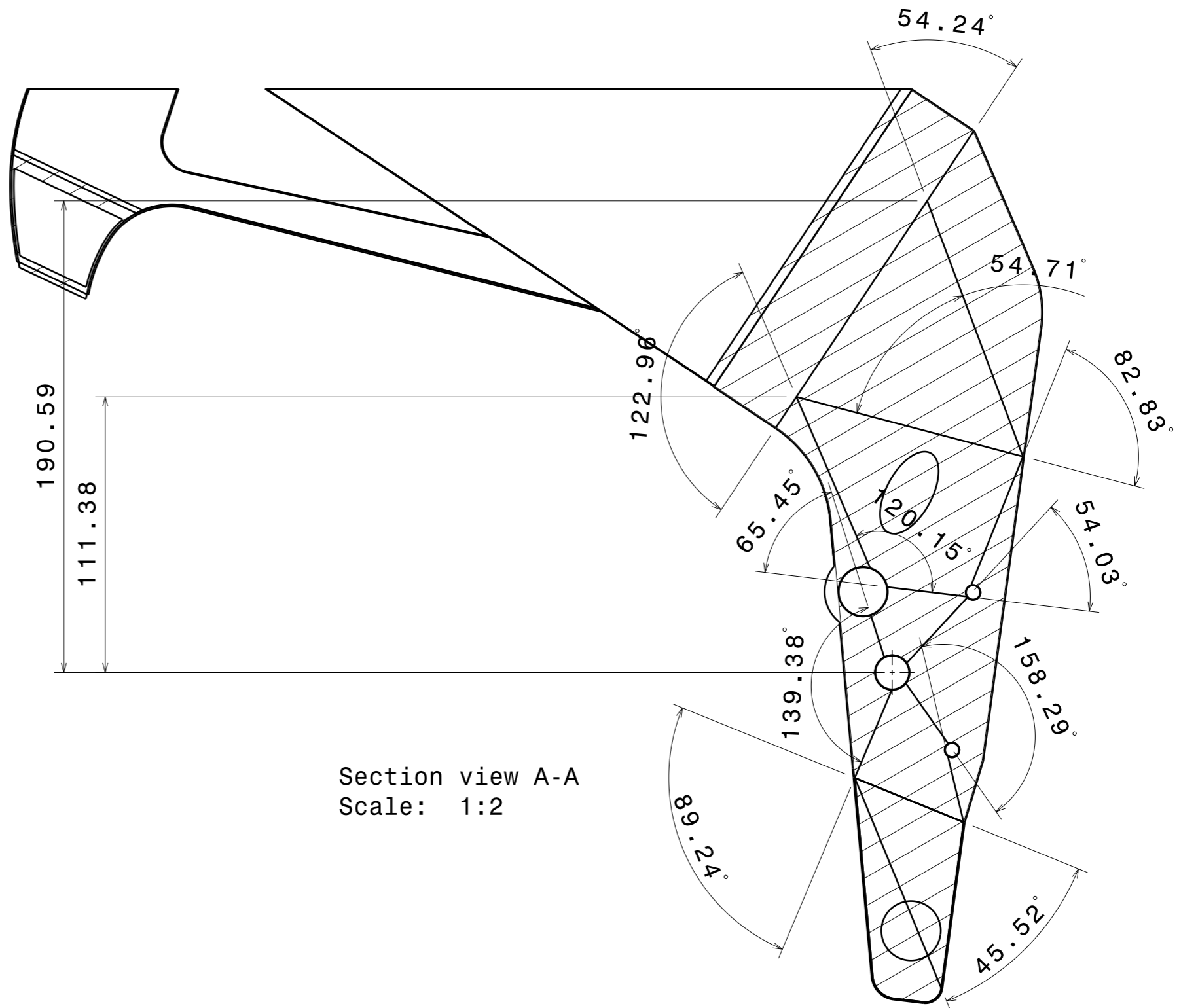
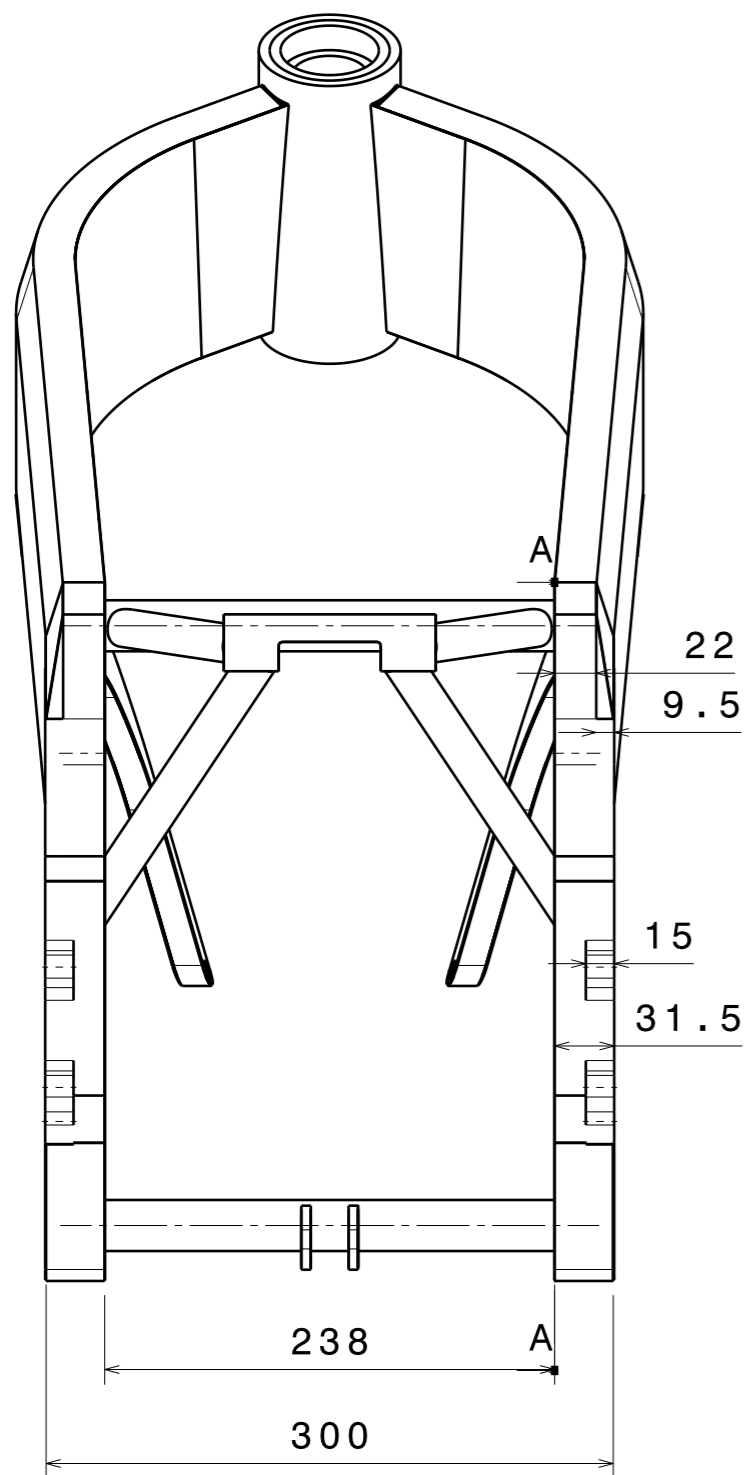
FIRMA	REVISADO	APROBADO
-------	----------	----------

PLANO

VIGA CAJÓN, ANCLAJE AMORTIGUADOR

FECHA 23/7/2010	ESCALA 1:4	Nº PLANO 3
--------------------	---------------	---------------

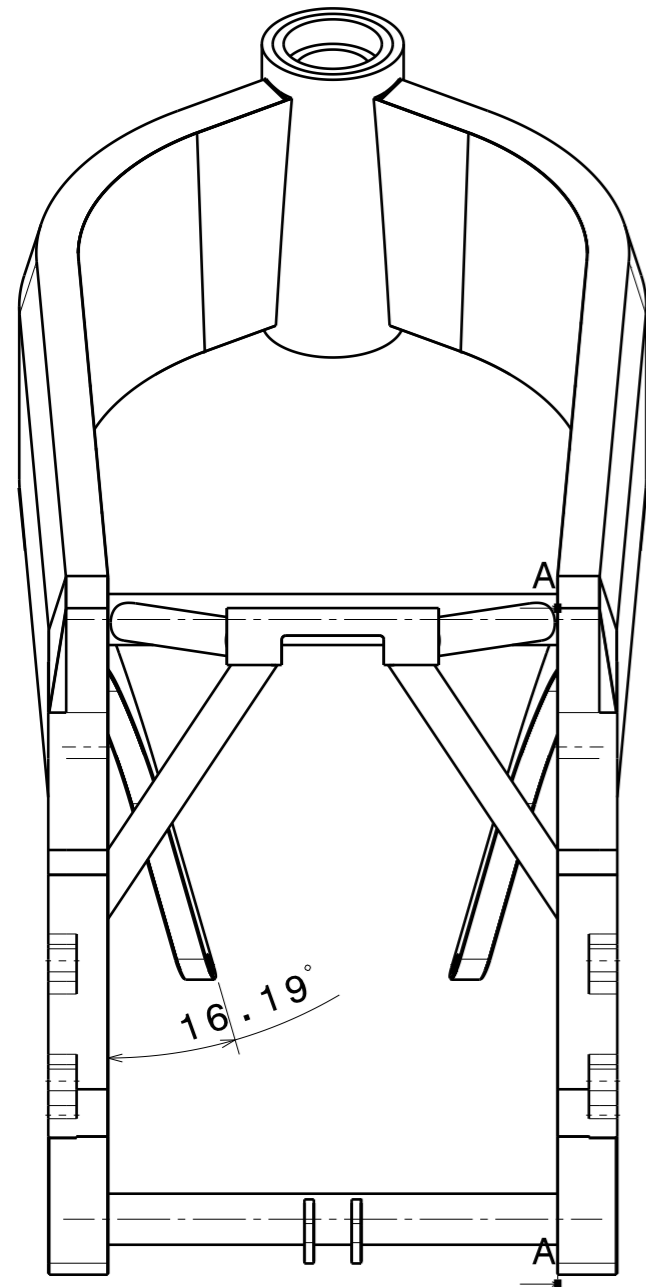
Las tolerancias de las cotas sin especificar serán de +1 y -1 mm



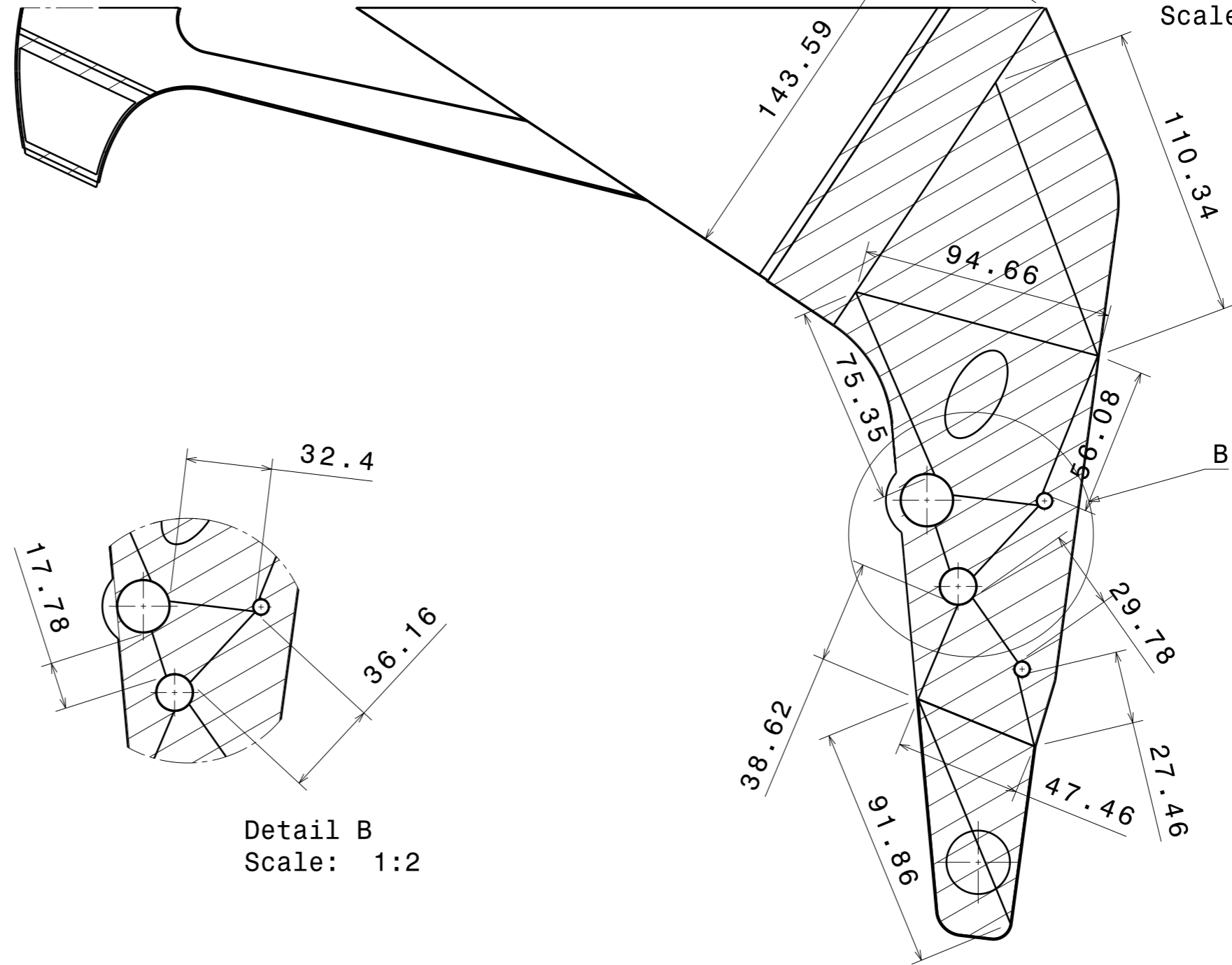
 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T	ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN			
	INGENIERO INDUSTRIAL	COBA ANTÓN, IRIA			
PROYECTO	DISEÑO DEL CHASIS DE UNA MOTOCICLETA DE COMPETICIÓN		FIRMA	REVISADO	APROBADO
PLANO	VIGA CAJÓN, NERVIOS		FECHA 23/7/2010	ESCALA 1:4	Nº PLANO 4



Las tolerancias de las cotas sin especificar serán de +1 y -1 mm



Front view  
Scale: 1:4



Section view A-A  
Scale: 1:2

Detail B  
Scale: 1:2



E.T.S.I.I.T

INGENIERO INDUSTRIAL

ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

PROYECTO

DISEÑO DEL CHASIS DE UNA MOTOCICLETA DE COMPETICIÓN

COBA ANTÓN, IRIA

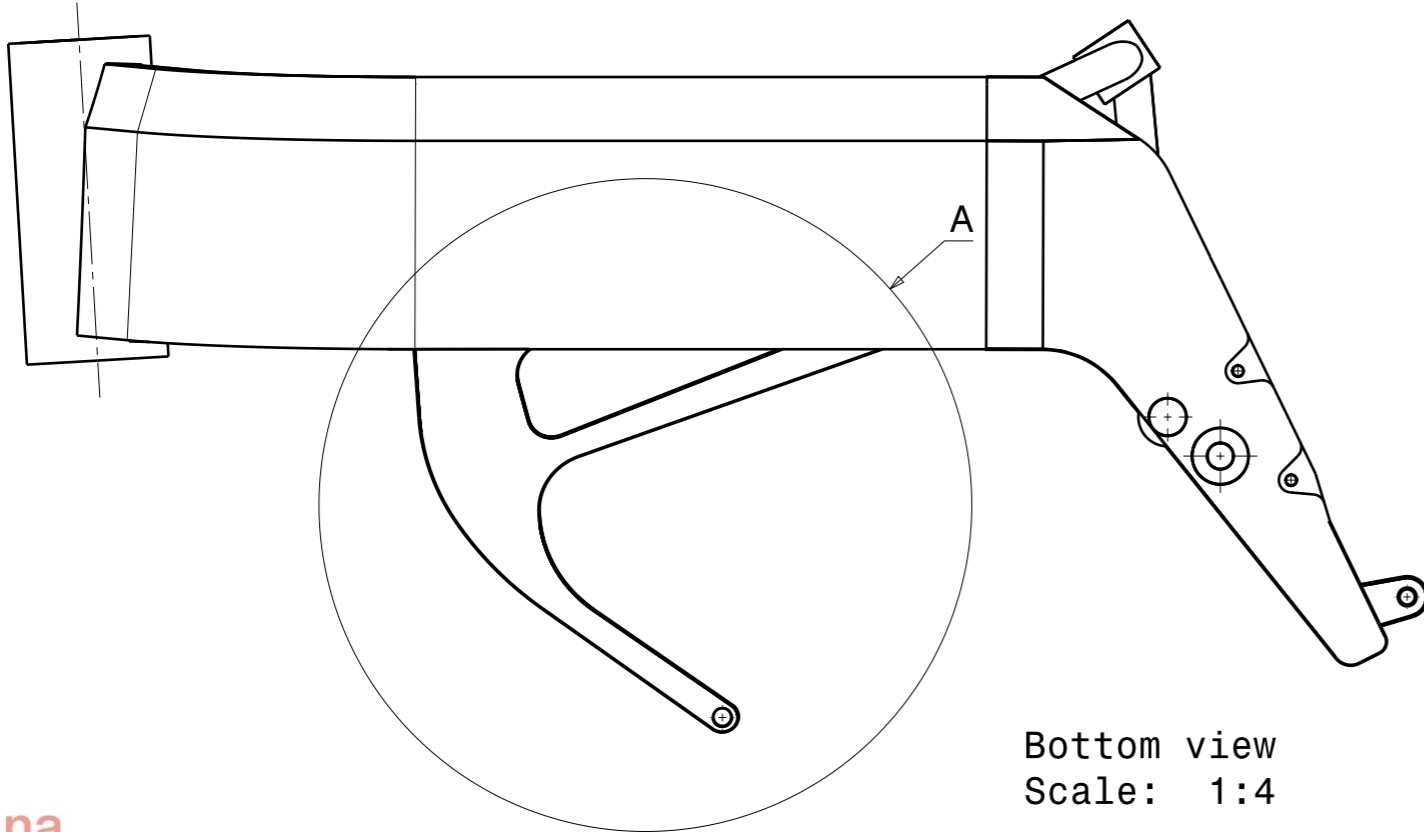
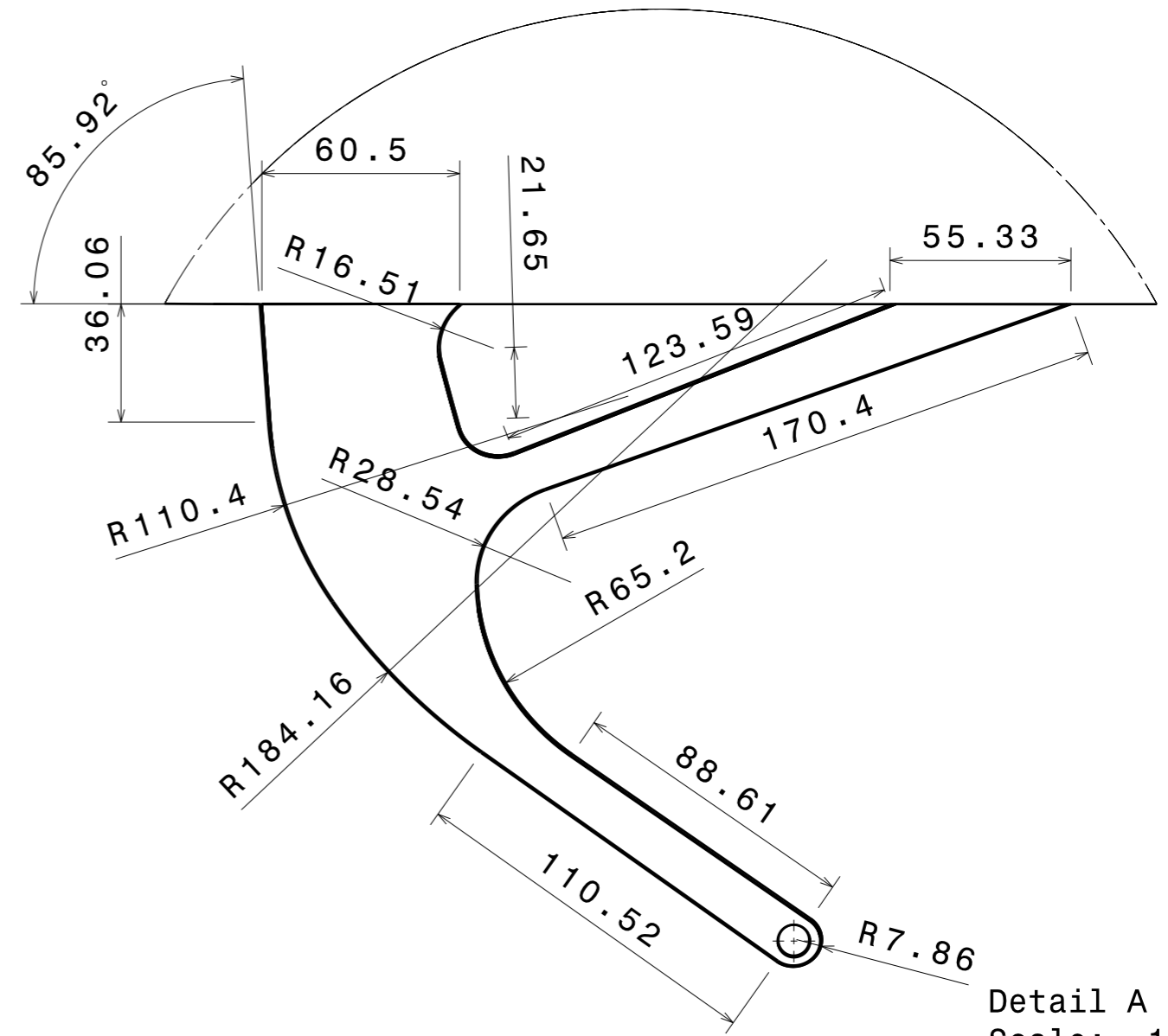
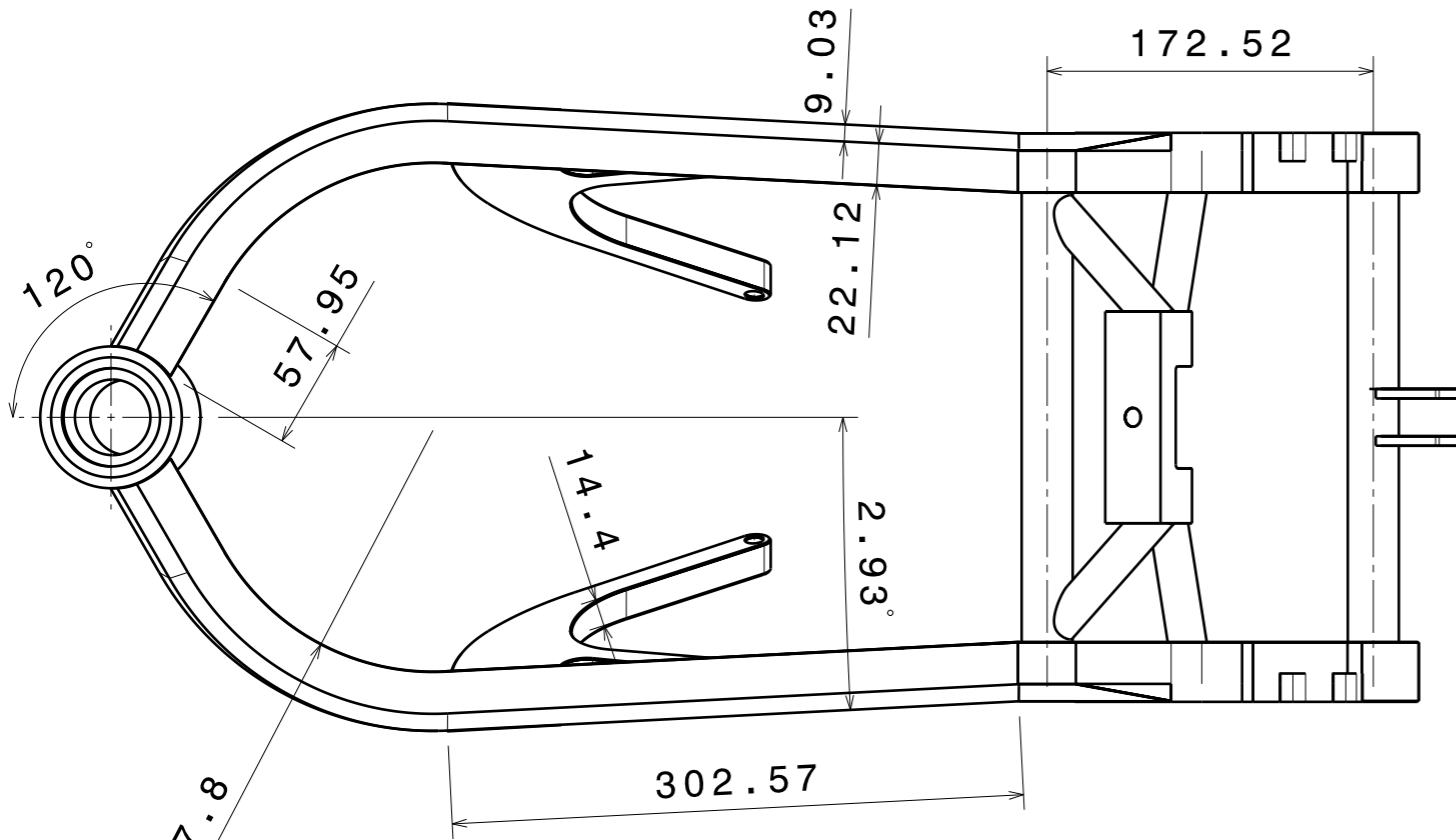
FIRMA	REVISADO	APROBADO
-------	----------	----------

PLANO

VIGA CAJÓN, NERVIOS

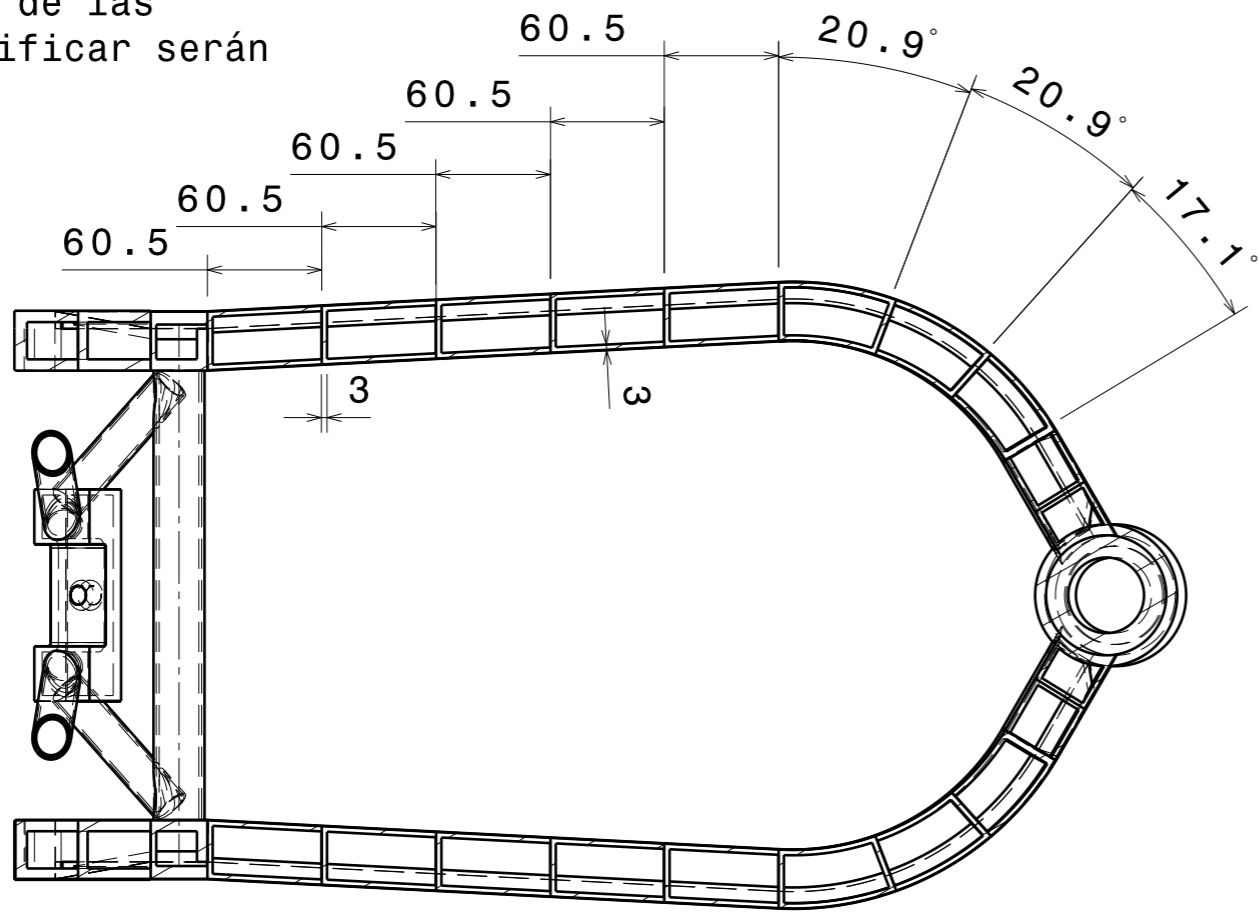
FECHA	ESCALA	Nº PLANO
23/7/2010	1:4	5

Las tolerancias de las cotas sin especificar serán de +1 y -1 mm

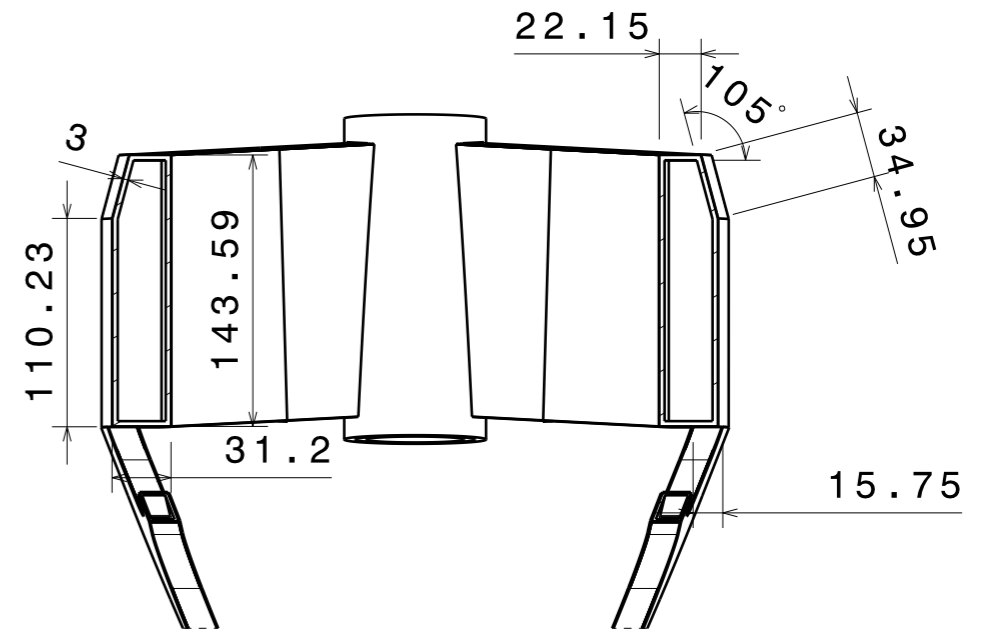


 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T	ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN			
	INGENIERO INDUSTRIAL	COBA ANTÓN, IRIA			
PROYECTO	DISEÑO DEL CHASIS DE UNA MOTOCICLETA DE COMPETICIÓN		FIRMA	REVISADO	APROBADO
PLANO	VIGAS CENTRALES, UNIÓN CON MOTOR		FECHA 23/7/2010	ESCALA 1:4	Nº PLANO 6

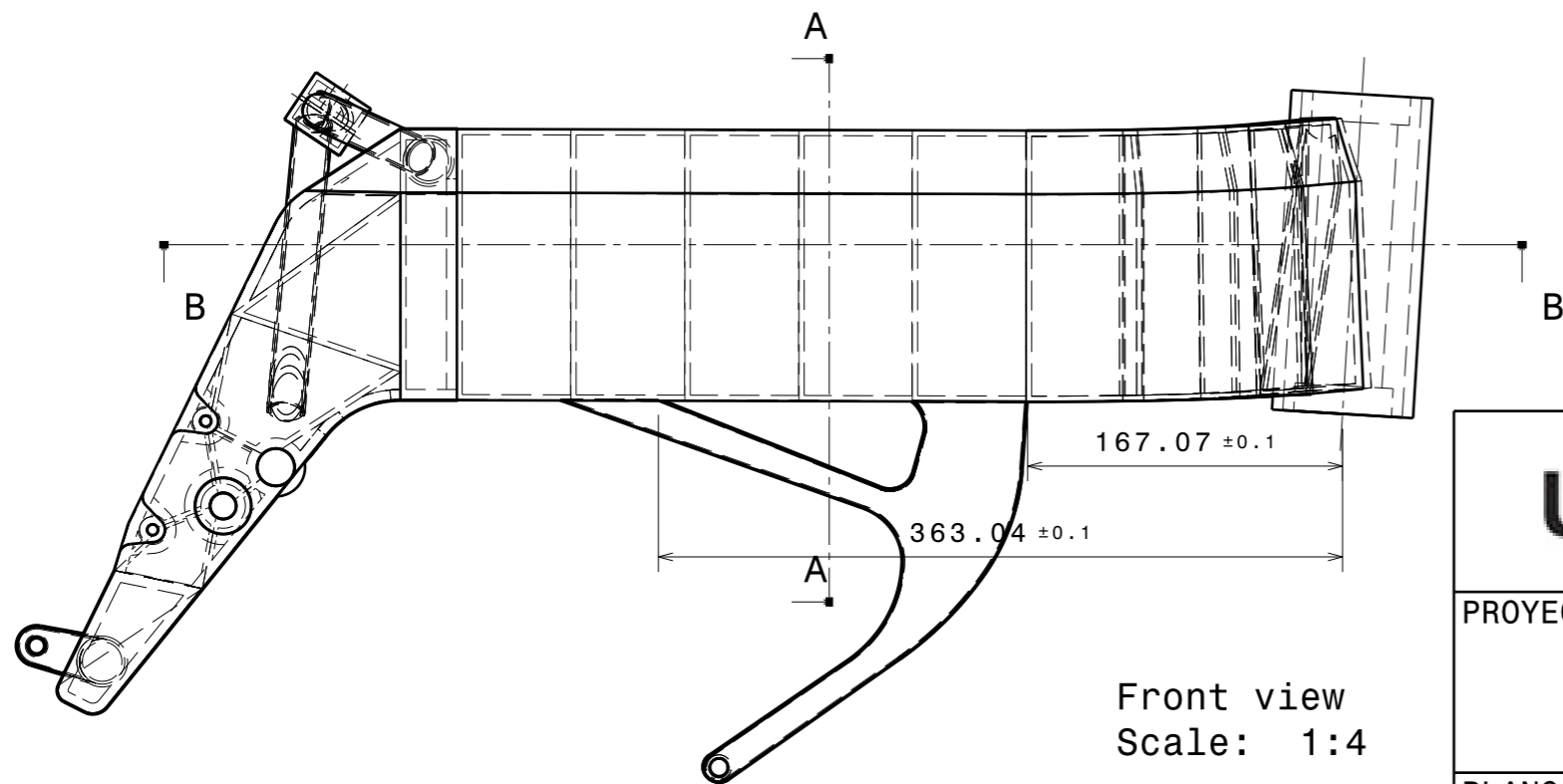
Las tolerancias de las cotas sin especificar serán de +1 y -1 mm



Section view B-B  
Scale: 1:4



Section view A-A  
Scale: 1:4



Front view  
Scale: 1:4

 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T	ESCUOLA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN			
	INGENIERO INDUSTRIAL	COBA ANTÓN, IRIA			
PROYECTO	DISEÑO DEL CHASIS DE UNA MOTOCICLETA DE COMPETICIÓN		FIRMA	REVISADO	APROBADO
PLANO	NERVIOS VIGAS CENTRALES		FECHA	ESCALA	Nº PLANO
			23/7/2010	1:4	7



# ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación:

INGENIERO INDUSTRIAL

Título del proyecto:

DISEÑO DEL CHASIS DE UNA MOTOCICLETA DE  
COMPETICIÓN

## ANEXOS

Iria Coba Antón

César Díaz De Cerio

Pamplona, 23 de Julio de 2010

**ANEXO I**

**ANEXO II**

**ANEXO III**

## **ANEXO I**

## **NORMATIVA GENERAL**

**ÍNDICE**

1. OBJETIVO DE LA COMPETICIÓN .....	2
2. FASES DE LA COMPETICIÓN .....	3
3. CALENDARIO.....	4
4. REGLAMENTO.....	5
4.1. Idiomas oficiales.....	5
4.2. Autoridades sobre el reglamento .....	5
4.3. Validez del reglamento.....	5
4.4. Conocimiento del reglamento.....	5
4.5. Cumplimiento del reglamento.....	5
4.6. Violación de las normas del reglamento .....	5
4.7. Impugnación a otros vehículos.....	1
4.8. Cambios en la reglamentación.....	6
5. NORMATIVA SOBRE LOS EQUIPOS .....	7
5.1. Requisitos individuales de los participantes.....	7
5.2. Requisitos de los equipos .....	7
5.3. <b>Mentor</b> e Tutor del equipo. Representantes oficiales de los equipos .....	7
5.4. Aspectos federativos .....	7
5.5. Seguros .....	8
5.6. Asistencia externa a los equipos Universitarios.....	8
5.7. Número de equipos participantes.....	8
6. INSCRIPCIÓN .....	9
6.1. Cuotas de inscripción .....	9
6.2. Formalización de la inscripción .....	9
ANEXO A: DESCRIPCION DE LAS PRUEBAS.....	10
A.1. Fases previas a las jornadas competitivas .....	10
A.2. Fase MS1.....	10
A.2.1. Demostración del prototipo.....	10
A.2.2. <b>Presentación</b> del proyecto industrial.....	11
A.2.3. Jurados .....	11
A.2.4. Premios.....	11
A.3. Fase MS2.....	12
A.3.1. Pruebas de seguridad en banco.....	12
A.3.2. Evaluación de prestaciones.....	12
A.3.3. Carrera.....	12
A.3. Premios .....	13



## 1. OBJETIVO DE LA COMPETICIÓN

La competición MotoStudent promovida por la fundación Moto Engineering Foundation (en adelante MEF) es un desafío entre equipos universitarios de distintas UNIVERSIDADES españolas, europeas y del resto del mundo.

Consiste en diseñar y desarrollar un prototipo de moto de competición de pequeña cilindrada 125 cm<sup>3</sup>, 2 tiempos, que competirán con su evaluación pertinente, en unas jornadas que se llevarán a cabo inicialmente en las instalaciones de la Ciudad del Motor de Aragón. Para el propósito de esta competición, el equipo universitario debe considerarse integrado en una empresa fabricante de motos de competición, para desarrollar y fabricar un prototipo bajo unos condicionantes técnicos y económicos dados. La competición en sí misma es un reto para los estudiantes, donde estos en un periodo de tiempo de tres semestres han de demostrar y probar su capacidad de creación e innovación y la habilidad de aplicar directamente sus capacidades como ingenieros en comparación con los otros equipos de universidades de todo el mundo.

## 2. FASES DE LA COMPETICIÓN

Las motos serán juzgadas en unas series de eventos tanto estáticos como dinámicos, que incluirán: exposiciones orales y de "panel", inspecciones técnicas, demostraciones dinámicas, etc. Para poder evaluar y puntuar los proyectos, la competición tendrá un proceso de selección por fases.

Para que las motos y proyectos entren en competición o concurso deberán cumplir los requisitos previos de resistencia seguridad y funcionamiento indicados en el reglamento técnico.

Los equipos, que superen estos requisitos, competirán en la fase MS1 en la cual se evaluará el proyecto bajo el punto de vista industrial con especial atención a aspectos estéticos, técnico y económico. Esta evaluación, con sus criterios, jurado y premios se indican en el ANEXO a este documento.

Las motos que superen estas pruebas participarán en la fase de pruebas dinámicas denominada MS2.

Estas pruebas consistirán en una evaluación de cualidades de pilotaje efectuadas por probadores expertos. Para la valoración final se desarrollará una carrera en la que los participantes serán pilotos federados de copas de promoción, seleccionados por la organización. Las pruebas y su valoración se encuentran definidos en el ANEXO mencionado.

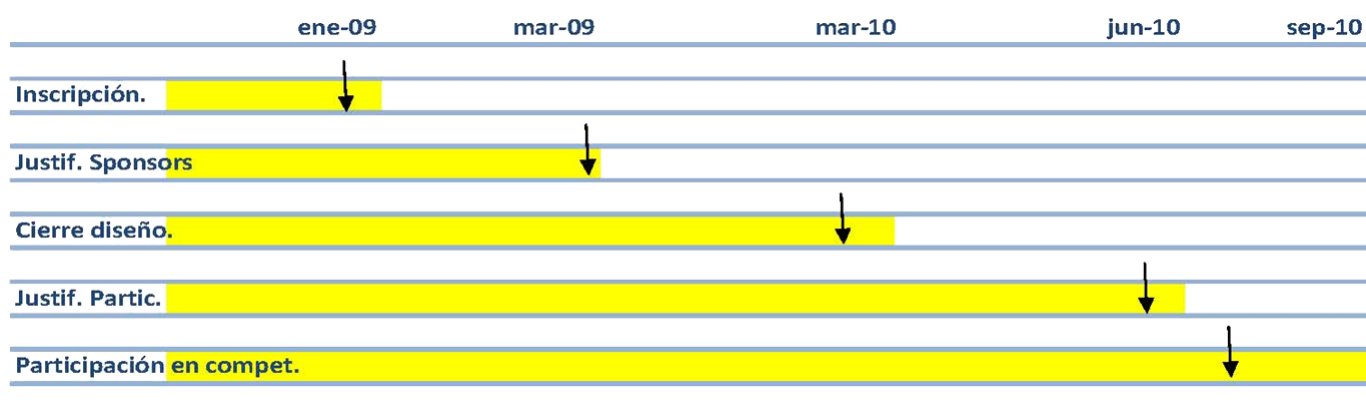
Niveles a superar por los equipos participantes:

	Excluyente	Puntuable
Requisitos mínimos	Si	No
Fase MS1 (Proyecto)	Si	Si
Fase MS2 (Seguridad)	Si	No
Fase MS2 (Pruebas dinámicas)	Si	Si
Fase MS2 (Carrera)	Si	Si

Todos los equipos participantes para ser evaluados en cualquiera de las categorías deben superar el nivel mínimo tanto en MS1 como en MS2, es decir ningún equipo puede fijarse como objetivo participar en una sola de las categorías ya que este hecho conculca el espíritu mismo de la competición.

### 3. CALENDARIO

El Calendario de la competición tiene una serie de fechas claves para los distintos equipos participantes y que deben cumplir con objeto de que entren en la evaluación final de la competición ya que se trata de desarrollar no solo un prototipo sino un proyecto de Ingeniería.



## 4. REGLAMENTO

### 4.1. Idiomas oficiales

Los idiomas oficiales de la competición MotoStudent serán español e inglés. La entrega de documentación, exposiciones públicas e información relativa a la competición será aceptable en ambos idiomas.

### 4.2. Autoridades sobre el reglamento

El reglamento de MotoStudent es de responsabilidad única de la fundación MEF. Cualquier comunicado oficial que parta de Moto Engineering Foundation se ha de considerar como parte y ha de tener la misma validez que el reglamento aquí publicado.

Las ambigüedades o cuestiones concernientes al significado o intenciones de este reglamento serán resueltas por la fundación MEF. Todas estas cuestiones, formularios de consulta, etc., se encontrarán disponibles, para los equipos participantes, en una base de datos preparada a tal efecto en la web. de MEF. Así mismo quedarán correspondientemente archivadas las consultas y respuestas en una estructura informática dispuestas a nivel general o a nivel particular para cada equipo.

### 4.3. Validez del reglamento

El reglamento de MotoStudent publicado en la web de la MEF y fechado en el calendario de la competición, serán las normas que tendrán efecto para cada una de las ediciones.

### 4.4. Conocimiento del reglamento

Se hace responsable a los equipos de la lectura y conocimiento del reglamento y sus normas para la competición a la que se presentan. El reglamento de la competición incluye no solo este reglamento base sino todos los anuncios oficiales que sean publicados en la web. de la competición motostudent.com.

### 4.5. Cumplimiento del reglamento

Al entrar en la competición, los equipos universitarios, tanto sus miembros individuales, los tutores de cada universidad, y cualquier otro personal adscrito al equipo universitario estarán sujetos al cumplimiento de las normas reflejadas por el reglamento y/o anunciadas por la MEF. Todos los equipos, tutores universitarios y representantes universitarios deben cooperar y seguir las instrucciones de organizadores y jueces de la MEF.

### 4.6. Violación de las normas del reglamento

La violación intencionada de las normas y reglas aquí expresadas supondrá la expulsión de la competición sin opción a la reclamación en caso de que se pruebe que fue intencionada y esté demostrada. Cualquier cuestión, duda o comentario se deberá remitir al comité organizador del evento según proceda.

#### **4.7. Impugnación a otros equipos**

El Comité Organizador de la prueba se reserva el derecho, en cualquier momento de la competición, de inspeccionar y examinar las actividades de los equipos en competición. Cualquier aspecto detectado en la inspección que vulnere los principios de la competición puede llevar aparejado al equipo correspondiente a verse apartado de la competición. Cualquier equipo puede impugnar a otro equipo participante en el caso de observar anomalías. No obstante, deberá presentar una fianza previa a la reclamación que será devuelta por la organización en caso de que la reclamación prospere. “La cuantía de la fianza” será fijada por la organización.

El Comité Organizador de la prueba se reserva el derecho, en cualquier momento de la competición, de inspeccionar y examinar las actividades de los equipos en competición. Cualquier aspecto detectado en la inspección que vulnere los principios de la competición puede llevar aparejado al equipo correspondiente a verse apartado de la competición. Cualquier equipo puede impugnar a otro equipo participante en el caso de observar anomalías. Las impugnaciones deberán obligatoriamente presentarse por escrito, indicando el artículo del reglamento que se considera violado, con pruebas suficientes para su verificación. Adicionalmente, deberá presentarse una fianza simultáneamente a la reclamación que será devuelta por la organización en caso de que la reclamación prospere. “La cuantía de la fianza” será fijada por la organización y podría llegar según el caso a la cuantía del primer premio.

#### **4.8. Cambios en la reglamentación**

El Comité Organizador se reserva el derecho de revisar el calendario de la competición y/o modificar el reglamento de la competición en cualquier momento y usando cualquier medio que haga mas eficiente la difusión de las mismas para el evento de MotoStudent, quedando registrado en la página web de la competición.

## 5. NORMATIVA SOBRE LOS EQUIPOS

### 5.1. Requisitos individuales de los participantes

La competición pretende, como aspecto fundamental ser un vehículo de formación complementaria para los estudiantes. La competición es puramente de ingeniería y no un campeonato de velocidad por estas consideraciones la elegibilidad esta limitada a estudiantes universitarios de grado o postgrado.

Para pertenecer a un equipo inscrito en la competición los alumnos deben estar matriculados en una Universidad Pública o Privada. Estos deben estar matriculados en un grado o postgrado. Como mínimo, tienen que haber superado el 50% de los créditos de su carrera de grado universitario. Se establece una edad mínima de 18 años para los miembros integrantes del equipo.

### 5.2. Requisitos de los equipos

Los equipos y los miembros que lo integran, registrados en la competición serán considerados como “participantes de la prueba” desde su inscripción, hasta la conclusión del evento. Cada equipo tendrá un mínimo de 7 participantes y un máximo de 15. Todo equipo universitario participante en MotoStudent deberá llevar como parte de su identificación el nombre de la Universidad o Centro Universitario a la que pertenece.

A su vez también pueden colaborar en la fase de desarrollo con el equipo otros centros Formativos como por ejemplo Centros de Formación de Educación Secundaria que por especiales características de equipamiento pueden complementar a la Universidad participante Sin embargo en las jornadas de Competición solamente podrán acceder a los distintos parques de trabajo los alumnos inscritos oficialmente.

Hasta seis meses (semestre académico) antes de la celebración de las pruebas será posible modificar la composición del equipo, siempre que un mínimo del 60% de sus componentes pertenezca al equipo inicial inscrito. En ningún caso se podrá reducir el número de componentes, es decir, en las modificaciones de la composición sólo se podrá sustituir o añadir participantes. Estas modificaciones deberán comunicarse puntualmente a la Organización. Las sustituciones no conllevan gasto adicional.

### 5.3. Tutor del equipo. Representantes oficiales de los equipos

Cada equipo debe nombrar un tutor de la universidad, siendo este un profesor de Universidad o personal técnico de la misma. Así mismo dicho tutor deberá acompañar al equipo de estudiantes a la competición y será considerado por los organizadores de la competición como el representante oficial del equipo de la universidad.

El tutor junto con el alumno Delegado, alumno elegido por los estudiantes, serán los responsables de mantener el contacto con la Organización y serán los únicos representantes oficiales de los equipos reconocidos por la Organización.

### 5.4. Aspectos federativos

Al ser pruebas de ingeniería y no de velocidad, los equipos no tendrán como requisito la necesidad de demostrar que algunos de los integrantes tengan licencias federativas expeditas por la autoridad competente, más

aun, cuando las pruebas dinámicas serán realizadas por pilotos externos a los equipos y elegidos por la organización.

### **5.5. Seguros**

Las universidades inscritas deberán integrar el trabajo realizado en el currículum formativo de forma y manera que esta competición entre dentro de las actividades QUE CUBRE EL SEGURO escolar. No obstante, cada equipo tendrá un seguro privado como garantía ante cualquier accidente que se pudiera presentar y que cubrirá a cada uno de sus integrantes.

### **5.6. Asistencia externa a los equipos Universitarios**

La involucración de Profesores y Técnicos de las Universidades, así como de Técnicos del Sector para el desarrollo de la actividad de los alumnos es de facto imprescindible y deseable para la competición. No obstante, es preciso recordar en este punto que el espíritu de la competición es fortalecer las habilidades de los estudiantes y ofrecer un marco para ello es también responsabilidad de todos. Por ello es preciso remarcar que se valorará como aspecto principal en el proyecto la demostración de que sean los propios estudiantes los que lleven a cabo las tareas y acciones directas en la construcción del prototipo.

### **5.7. Número de equipos participantes**

El número máximo de equipos participantes en la edición 2009-10 se establece en 30 equipos.

Por Universidad pueden presentarse más de un equipo. Cada equipo solo puede presentar un proyecto y prototipo.

## 6. INSCRIPCIÓN

### 6.1. Cuotas de inscripción

La cuota de inscripción se establece en 350€ más IVA por estudiante integrante del equipo.

Las tasas de inscripción deberán ser abonadas a la organización de MOTOSTUDENT antes de finalizar el primer mes de Enero de la competición, que se establece con carácter bianual.

Las tasas de inscripción no serán reembolsables.

La inscripción da derecho a los alumnos inscritos a participar en el desarrollo de la competición y a los materiales y servicios que la organización pone a disposición de los equipos. Estos materiales o componentes se indican en el reglamento técnico.

### 6.2. Formalización de la inscripción

En la fase de constitución de los equipos se enviara a la Organización una página de preinscripción que figura en la página principal de la pagina web de motostudent. En ella se indican los estudiantes que inicialmente van a formar parte del equipo con datos de contacto e identificación.

Todos los miembros del equipo participante deberán aportar, en el momento de la inscripción o registro, los documentos que a continuación se detallan y, así mismo, proveer de datos de contacto para situaciones de emergencia.

La inscripción se formalizara rellenando los documentos que se encuentran en la pestaña de equipos /winchill de la pagina web motostudent.

- ✓ Doc MS\_2009-01. Miembros del equipo.
- ✓ Doc MS-2009-02. Constitución del equipo.
- ✓ Doc MS\_2009-03. Carta de oficialización del equipo.
- ✓ Doc MS\_2009-04. Imagen copia de ingreso.
- ✓ Doc MS\_2009-05. Imagen copia de seguro.
- ✓ Doc MS- 2009-06. Solicitud de sistema CAD.

Una vez los equipos hayan presentado la documentación indicada la organización les adjudicara su correspondiente código contraseña de forma que puedan acceder a su dominio particular en que el que se encontrará la información técnica digital correspondiente a los componentes suministrados.



## ANEXO A: DESCRIPCION DE LAS PRUEBAS

Como se ha indicado anteriormente los equipos participantes tendrán que someterse a una serie de pruebas sucesivas eliminatorias agrupadas en dos fases MS1 y fase MS2.

### A.1. Fases previas a las jornadas competitivas

Como se ha descrito en las informaciones de la competición, con objeto de que la misma tenga realmente carácter industrial se establecen unas fechas límite para una serie de actuaciones previas a las jornadas de competición.

- ✓ Presentación de justificación de patrocinadores. En la que los equipos participantes deben justificar de forma clara que empresas e instituciones sufragan la construcción del prototipo. Se formalizara a través del formulario en la página web y esta justificación debe presentarse antes del 1 de Abril del 2009. Tras esta justificación, al mes siguiente los equipos recibirán los componentes reglamentarios.
- ✓ Presentación de diseño cerrado. Antes del 31 de Marzo del 2010 los equipos participantes presentaran a la organización información gráfica de detalle del chasis y basculante o equivalente con cotas principales que será guardada por la organización. Esta información debe permitir a los jurados sin manipulación informática alguna verificar los futuros prototipos. La organización fija como formato específico documentos pdf de los planos de conjunto y/o detalle con tamaño máximo A3. Esta documentación solo será analizada por los jurados en las jornadas de competición y validarán que el prototipo presentado responde a esa información gráfica. Como es lógico se pueden aceptar modificaciones pero no de carácter sustancial.

El incumplimiento de estos hitos acarrea la separación de la competición.

### A.2. Fase MS1

La fase MS1 es una fase demostrativa en la que los equipos participantes deberán mostrar y explicar el prototipo realizado y el proyecto de industrialización del citado prototipo.

#### A.2.1. Demostración del prototipo

Los grupos presentarán un prototipo para que sea revisado por los inspectores conforma los aspectos dimensionales y de seguridad que indica el reglamento técnico.

Los equipos pueden disponer de los elementos de recambio (cualquier componente o parte de la moto) que consideren oportunos. Estos recambios deberán ser presentados a la organización simultáneamente con el prototipo para su verificación, validación y sellado. La utilización de componentes no sellados por la organización significara la expulsión inmediata de la competición.

Por otra parte realizara una mínima prueba de funcionamiento en parque cerrado. La prueba consistirá en una prueba de arranque y parada y de maniobrabilidad a derechas e izquierdas entre 10 conos situados a 3 m de distancia.

También presentaran en el stand preparado por la organización los paneles informativos que consideren convenientes.

### A.2.2. Presentación del proyecto industrial

El proyecto industrial será defendido ante un jurado de expertos elegidos por la organización y deberá contener la información siguiente:

El proyecto se desarrollara sobre los siguientes condicionantes:

Moto de circuito, con una serie anual de 500 unidades y un costo de fabricación máximo de 4500€. En este concepto se contemplan los conceptos siguientes: componentes (compras exteriores), amortización de utillajes en 5 años, mano de obra directa, repercusión infraestructura de empresa y gastos financieros. Esta moto de serie será derivada de la moto prototipo con las mínimas diferencias exigidas por el proceso de fabricación en la serie y por las adaptaciones a los componentes de la serie que no deben porque ser los mismos que en la moto prototipo.

El proyecto constará de cuatro apartados independientes, con las siguientes puntuaciones máximas.

- ✓ Diseño del vehículo (150 puntos).
- ✓ Análisis y cálculos técnicos (175 puntos).
- ✓ Definición del sistema de fabricación e industrialización (175 puntos).
- ✓ Análisis de costos del desarrollo del prototipo y proceso industrial de fabricación de la serie (100 puntos).

Cada apartado del proyecto industrial de los distintos equipos se presentará ante un mismo jurado de expertos, elegidos por la organización.

Para la exposición de cada apartado los equipos designaran uno o dos alumnos diferentes.

### A.2.3. Jurados

Los jurados que evaluarán los proyectos estarán formados por técnicos del sector Industrial y de la competición de vehículos de dos ruedas elegidos por la organización, tanto para esta categoría como la categoría MS2.

Los jurados se establecerán por temáticas., un jurado de Diseño, otro de Análisis y Cálculos técnicos, otro de Definición del sistema de fabricación e industrialización y otro de Costes.

La evaluación del jurado será inapelable.

### A.2.4. Premios

Se otorgarán premios a:

- ✓ Al mejor proyecto industrial que incluirá una mención a la mejor innovación o aplicación técnica (Todas las fases).

El premio será de 6000€ con trofeo para el equipo y un "stage" para integrantes del equipo en empresas industriales del sector o empresas de competición.

- ✓ Dos accésits de 3000€ a:

Mejor diseño.

Mejor innovación tecnológica.

**A.3. Fase MS2**

La fase MS2 es una fase de validación experimental en la que las motos prototipo de los equipos participantes que hayan superado la Fase MS1 deberán demostrar su calidad de actuación superando distintas pruebas en banco y en circuito.

**A.3.1. Pruebas de seguridad en banco**

Estas pruebas pretenden ser una garantía de robustez , fiabilidad y seguridad ante las pruebas en circuito.

Así las motos deberán superar las siguientes pruebas:

- ✓ Prueba de resistencia de chasis según especificaciones de reglamento técnico
- ✓ Prueba de frenada en banco de rodillos según especificaciones de reglamento técnico
- ✓ Prueba de ruidos

La sistemática de presentación y prueba de las motos se realizara mediante un proceso de verificación que se dará a conocer a los equipos con suficiente antelación.

**A.3.2. Evaluación de prestaciones**

Los equipos que hayan superado las pruebas de seguridad pondrán sus motos a disposición de profesionales de pruebas y ensayos elegidos por la organización que harán una valoración de sus prestaciones en el circuito de velocidad en una vuelta al circuito.

Cada moto será probada por un mínimo de tres pilotos, los cuales evaluarán:

- ✓ Capacidad de frenada (80 puntos)
- ✓ Capacidad de aceleración (80 puntos)
- ✓ Maniobrabilidad (80 puntos)
- ✓ Estabilidad (80 puntos)
- ✓ Velocidad punta (80 puntos)

La organización facilitará a los equipos piloto, circuito y tiempo de prueba limitado para la puesta a punto de la moto previo a la prueba de evaluación de prestaciones.

Los probadores serán designados por la organización de la prueba y su resolución será inapelable. Como consecuencia de la evaluación conjunta de sus prestaciones, se establecerá una clasificación de las motos. Si alguna de las motos no supera el 25% de la puntuación máxima en alguna de las capacidades valoradas se considerara no apta para la carrera.

**A.3.3. Carrera**

Las motos que hayan superado la prueba anterior, participarán en una carrera de velocidad en circuito.

Esta prueba tendrá carácter competitivo con una valoración en el computo de las pruebas dinámicas según la siguiente tabla de puntuación:

Posición	Puntos
1º	100
2º	90

Posición	Puntos
5º	76
6º	72

Posición	Puntos
9º	60
10º	57

Posición	Puntos
13º	48
14º	45

3º	85
4º	80

7º	68
8º	64

11º	54
12º	51

15º	42
16º al 30º	40

El equipo que no termine la carrera obtendrá 0 puntos por este concepto.

Para entrar en la puntuación los equipos que terminen deberán haber recorrido al menos el 50% de las vueltas recorridas por el primer clasificado.

Las motos se pilotarán por pilotos de categoría promoción seleccionados por la organización y sorteadas entre ellos.

Para facilitar la puesta a punto de la moto se facilitaran dos tandas de entrenamiento sin valor clasificatorio, cuyo desarrollo se comunicara oportunamente por parte de la organización.

La carrera se llevara a cabo sobre una longitud mínima de 45 km. La organización establecerá según el caso el número de vueltas o duración de la carrera. En el circuito de velocidad de ALCANIZ será de 8 vueltas.

El orden de la parrilla de salida se establecerá según la clasificación obtenida en la categoría MS1, de forma que el equipo con mejor puntuación ocupará el primer puesto de la parrilla. En caso de empate el orden de parrilla se establecerá por sorteo.

### A.3. Premios

Se otorgarán premios a las tres primeras motos clasificadas.

Al equipo de la primera moto clasificada se le entregara un premio de 6000€ y trofeo.

Al equipo clasificado en segundo lugar se le entregara un premio de 3000€ y trofeo.

Al tercer equipo clasificado se le otorgara un premio de 1500€ y trofeo.

Al resto de equipos participantes que hayan finalizado la carrera recibirán un trofeo recordatorio de su participación en la prueba.

## **ANEXO II**

## **REGLAMENTO TÉCNICO**

**ÍNDICE**

1. INTRODUCCIÓN: Objetivos fundamentales de este reglamento .....	3
2. LA MOTOCICLETA: Orientación general y definición del carácter de la misma .....	4
3. REQUERIMIENTOS GENERALES DE DISEÑO .....	5
3.1. Dimensiones .....	5
3.2. Pesos .....	5
4. CICLÍSTICA .....	6
4.1. Bastidor .....	6
4.2. Suspensiones .....	6
4.2.1. Suspensión delantera .....	6
4.2.2. Suspensión trasera .....	6
4.3. Dirección .....	6
4.3.1. Diseño .....	6
4.3.2. Amortiguador de dirección .....	7
4.4. Sistema de frenos .....	7
4.4.1. Freno delantero .....	7
4.4.2. Freno trasero .....	7
4.5. Estriberas .....	7
4.6. Manillar .....	7
4.7. Basculante .....	8
4.8. Llantas y neumáticos .....	8
4.9. Protecciones para caídas .....	8
5. CARENADOS .....	9
5.1. Restricciones dimensionales .....	9
5.2. Seguridad .....	9
6. MOTOR .....	10
6.1. Tipo .....	10
6.2. Características .....	10
6.3. Cilindro .....	10
Caja de láminas: no se permite su modificación. En caso de rotura se permite el recambio original .....	10
6.4. Culata .....	10
6.5. Cáster .....	10
6.6. Caja de cambios .....	10
6.7. Transmisión secundaria .....	10
6.8. Embrague .....	10
6.9. Acelerador .....	11
7. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE .....	12
7.1. Carburador / Inyección .....	12
7.2. Depósito de combustible .....	12
7.3. Conductos de combustible .....	12
7.4. Sistema de llenado .....	12
7.5. Tipo de combustible .....	12

8. SISTEMA DE REFRIGERACIÓN .....	13
8.1. Refrigeración interna del motor .....	13
8.2. Radiador .....	13
8.3. Líquidos refrigerantes.....	13
9. SISTEMA DE ADMISIÓN DE AIRE .....	14
9.1. Conductos de admisión.....	14
9.2. Airbox .....	14
9.3. Sistemas de sobrepresión.....	14
10. SISTEMA DE ESCAPE .....	15
11. INSTALACIÓN ELÉCTRICA.....	16
11.1. Cableado .....	16
11.2. Conectores .....	16
11.3. Componentes .....	16
12. SISTEMAS ELECTRÓNICOS .....	17
12.1. Centralita .....	17
12.2. Tablier.....	17
12.3. Otros sistemas electrónicos .....	17
13. SISTEMAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS .....	18
14. OTROS COMPONENTES COMERCIALES .....	19
15. PROCEDIMIENTO DE VERIFICACIONES TÉCNICAS .....	20
15.1. Homologación del chasis .....	20
15.2. Verificación de cotas generales .....	20
15.3. Verificación de pesos .....	20
15.4. Verificación de ruidos .....	20
15.5. Verificación del cumplimiento de la normativa de seguridad .....	20
16. IDENTIFICACIÓN DE LA MOTOCICLETA .....	22
16.1. Números y fondos .....	22
16.2. Identificación frontal .....	22
16.3. Dorsales laterales.....	22
16.4. Número de identificación de bastidor de la motocicleta.....	22
16.5. Nombre de la universidad .....	22
16.6. Espacio en el bastidor para adhesivo de verificación técnica.....	22
16.7. Espacio para soporte y alojamiento del transponder .....	22
17. FIGURAS.....	24



## **1. INTRODUCCIÓN: Objetivos fundamentales de este reglamento**

Este documento contiene la normativa técnica reguladora de la competición denominada "Motostudent". El principal objetivo consiste en estandarizar y acotar el amplio abanico de posibilidades de construcción de un prototipo. De este modo todos los proyectos se ajustarán a una línea de trabajo orientativa y común. Así pues, se posibilita una competencia objetiva entre los participantes.

## **2. LA MOTOCICLETA: Orientación general y definición del carácter de la misma**

El objeto de la competición es un vehículo de dos ruedas a motor de combustión interna. Dicho vehículo será concebido para el pilotaje de un solo ocupante.

La motocicleta deberá ser un prototipo diseñado y construido para la competición. La especialidad son las carreras de velocidad.

### 3. REQUERIMIENTOS GENERALES DE DISEÑO

#### 3.1. Dimensiones

Las dimensiones de la motocicleta son libres exceptuando algunos requisitos básicos:

- ✓ La anchura mínima entre los extremos de los semimanillares (o manillar en su caso) ha de ser de 450 mm. (Figura 1)
- ✓ El ángulo mínimo de inclinación lateral de la motocicleta sin que ningún elemento de la misma (exceptuando los neumáticos) toque el pavimento debe ser 50°. Dicha medición se realiza con la motocicleta descargada (sin piloto) pero con todo el equipamiento y líquidos para su funcionamiento. (Figura 1)
- ✓ La distancia libre al pavimento con la motocicleta en posición vertical ha de ser de un mínimo de 100 mm Dicha medición se realiza con la motocicleta (sin piloto) pero con todo el equipamiento y líquidos para su funcionamiento.
- ✓ Dispuesta la motocicleta en posición vertical con situación de máxima compresión de suspensiones no puede haber contacto de ningún componente de la moto con el pavimento.
- ✓ Límite posterior: Ningún elemento de la motocicleta podrá rebasar la línea tangente vertical trazada a la circunferencia exterior del neumático trasero. (Figura 2)
- ✓ La distancia de los neumáticos a cualquier elemento de la motocicleta diferente de la rueda no podrá ser inferior a 15 mm. en toda posición de la misma y reglaje de geometría.
- ✓ La anchura máxima del asiento debe ser de 450 mm. No podrá sobresalir de esa anchura ningún otro elemento de la motocicleta del asiento hacia detrás excepto el sistema de escape. (Figura 3)

#### 3.2. Pesos

El peso mínimo del conjunto de la motocicleta en orden de marcha incluido depósito, gasolina y líquidos en ningún momento de las pruebas deberá ser inferior a 90 kg. El peso se podrá verificar tanto al inicio, durante y final de la competición.

Está permitido lastrar el vehículo para alcanzar el peso mínimo.

## 4. CICLÍSTICA

### 4.1. Bastidor

El diseño, el proceso y el material utilizado para la fabricación del bastidor es libre excepto en las siguientes consideraciones:

- ✓ No está permitido fabricar el chasis en titanio ni aleaciones de titanio.
- ✓ El bastidor definitivo a presentar en la competición deberá haber superado el proceso de homologación por parte de la organización. (Ver criterios de verificación)
- ✓ No se permite el uso de un chasis comercial ni tan siquiera una unidad modificada. Deberá tratarse de un chasis prototipo de fabricación propia.

### 4.2. Suspensiones

#### 4.2.1. Suspensión delantera

El diseño de la composición del sistema de suspensión delantera es libre.

En el caso de uso de horquilla en la composición de la suspensión delantera se deberá utilizar la proporcionada por la organización solo autorizándose el cambio de las tijas.

La horquilla proporcionada por la organización no puede ser modificada estructuralmente. Solo está permitido el cambio de características de la horquilla con el cambio de la viscosidad del aceite hidráulico y muelles.

Está prohibido el uso de titanio, aleaciones ligeras y compuestos de fibra en los ejes de rotación de los componentes del sistema de suspensión delantera.

#### 4.2.2. Suspensión trasera

El diseño de la composición del sistema de suspensión trasera es libre.

En el caso de uso de amortiguador en la composición de la suspensión trasera se deberá utilizar el proporcionado por la organización.

El amortiguador proporcionado por la organización no puede ser modificado estructuralmente. Solo se permite el cambio del muelle.

Está prohibido el uso de titanio, aleaciones ligeras y compuestos de fibra en los ejes de rotación de los componentes del sistema de suspensión trasera.

### 4.3. Dirección

#### 4.3.1. Diseño

En todo el recorrido de giro de la dirección no deberá existir ningún elemento que interfiera en una tolerancia de 30 mm entorno a los puños del manillar y accionamientos. El objetivo es evitar daños en las manos y dedos del piloto en caso de caída. (Figura 3)

El ángulo mínimo de giro de la dirección deberá ser de 15° medidos a cada lado del eje longitudinal de la motocicleta. (Figura 3)

El ángulo de giro de la dirección deberá estar limitado con un tope a cada lado.

#### **4.3.2. Amortiguador de dirección**

Está permitido el uso de amortiguador de dirección.

### **4.4. Sistema de frenos**

La motocicleta deberá disponer tanto de freno delantero como freno trasero.

#### **4.4.1. Freno delantero**

Deberá utilizarse el conjunto de freno delantero (bomba, latiguillos y pinza) proporcionado por la organización.

Se permite la elección del tipo de pastillas de freno y disco.

Se permite la sustitución de los latiguillos de freno por otros de diferente longitud.

La situación del accionamiento de la bomba de freno y la modificación de la leva de accionamiento es libre con la restricción de que, si su ubicación fuese el manillar, su longitud no podrá ser superior a 200 mm y su extremo deberá ser una esfera de un diámetro mínimo de 18 mm.

#### **4.4.2. Freno trasero**

Deberá utilizarse el conjunto de freno trasero (bomba, latiguillos y pinza) proporcionado por la organización.

Se permite la elección del tipo de pastillas de freno y disco.

Se permite la sustitución de los latiguillos de freno por otros de diferente longitud.

La situación del accionamiento de la bomba de freno y la modificación de la leva de accionamiento es libre con la restricción de que, si su ubicación fuese el manillar, su longitud no podrá ser superior a 200 mm y su extremo deberá ser una esfera de un diámetro mínimo de 18 mm.

### **4.5. Estriberas**

Como requisito deberán tener protegidos los extremos con un tope de nilón de un radio mínimo de 8 mm.

Deberán disponer de protectores laterales para evitar que la bota del piloto pueda interferir con elementos móviles como cadena o neumático trasero.

### **4.6. Manillar**

La anchura del manillar medida entre los extremos de los puños no podrá ser inferior a 450 mm. (Figura 1)

Las puntas del manillar deberán ir protegidas con un tope de nilón redondeado de un radio mínimo de 8 mm.

No está permitido el uso la de manillares o semimanillares contruidos en **materiales y/o ALEACIONES de comportamiento FRAGIL**.

Los soportes del manillar o semimanillares deberán estar diseñados con el fin de minimizar el riesgo de fractura en caso de caída. Se deberán utilizar radios mínimos de 2 mm en el anclaje para facilitar deformaciones sin fractura.

#### **4.7. Basculante**

Está prohibido el uso de titanio, aleaciones ligeras y compuestos de fibra en la fabricación de los ejes de rotación del basculante.

Es obligatorio el uso de un protector de cadena que impida la interferencia entre el cuerpo del piloto y el punto de engrane cadena-corona en la rueda trasera.

#### **4.8. Llantas y neumáticos**

La organización suministrará las llantas y neumáticos y se prohíbe su modificación, salvo en anclajes de disco salvaguardando en todo caso la rigidez de las mismas.

Está prohibido el uso de titanio, aleaciones ligeras y compuestos de fibra en la fabricación de los ejes de ruedas.

Esta permitido el uso de protectores de nilón en los extremos del eje para posibles caídas. Estos protectores deberán ser redondeados con un diámetro igual o superior al del eje utilizado.

Los ejes de rueda no podrán sobresalir de su alojamiento en sus extremos más de 30 mm. No se consideran en esta medida posibles protectores de nilón.

#### **4.9. Protecciones para caídas**

Se aconseja el uso de topes de nilón para proteger la motocicleta en caso de caída. También se permite el uso de protectores de fibra para chasis y cárter de motor.

## 5. CARENADOS

### 5.1. Restricciones dimensionales

Todos los bordes y acabados del carenado han de ser redondeados. Radio mínimo 1 mm.

La anchura máxima del carenado será de 600 mm. (Figura 3)

Límite frontal: el carenado en ningún caso podrá sobrepasar la vertical frontal trazada tangencialmente a la circunferencia exterior del neumático delantero.

Límite posterior: el carenado en ningún caso podrá sobrepasar la vertical posterior trazada tangencialmente a la circunferencia exterior del neumático trasero.

Lateralmente: El carenado no podrá cubrir lateralmente al piloto a excepción de los antebrazos (esta excepción solamente en posición de mínima resistencia aerodinámica del piloto). La llanta posterior no podrá cubrirse en más de 180°.

Entre la altura del asiento y la parte más elevada del colín la cota máxima será de 150 mm.

La utilización de guardabarros no es obligatoria.

El guardabarros delantero no podrá cubrir más de 135° de la circunferencia del neumático medido desde la parte posterior del neumático con origen del ángulo en la horizontal que pasa por el eje de rueda. En esos 135° las dimensiones del guardabarros son libres.

Esta permitido el uso de alerones como pieza del carenado. Deberán no superar la anchura del carenado o del colín ni superar la altura de los extremos del manillar. El radio mínimo será de 2 mm. Se permite el uso de dispositivos móviles aerodinámicos.

### 5.2. Seguridad

Todos los sobraderos de la motocicleta deberán redirigirse a un depósito de un mínimo de 250 cm<sup>3</sup> de capacidad para evitar vertido de líquidos. (Sobradero de aceite cárter, depósito de gasolina, refrigerante).

## 6. MOTOR

Deberá utilizarse el motor proporcionado por la organización. El motor se entregará sellado y se prohíbe totalmente su manipulación interna.

### 6.1. Tipo

Motor monocilíndrico de 125 cm<sup>3</sup> 2 tiempos con refrigeración líquida.

### 6.2. Características

Descritas en las hojas técnicas en la WEB.

### 6.3. Cilindro

Caja de láminas: no se permite su modificación. En caso de rotura se permite el recambio original.

### 6.4. Culata

No se permite el mecanizado de la culata para el uso de sensor de detonación.

### 6.5. Cáster

No se permite la modificación del mismo ni tan siquiera en sus anclajes externos.

### 6.6. Caja de cambios

Está prohibida la modificación de la caja de cambios en cualquiera de sus componentes. Tan sólo se permite la instalación de sensores para la adquisición de datos.

### 6.7. Transmisión secundaria

El tipo de transmisión es libre.

### 6.8. Embrague

La situación del accionamiento de la leva del embrague es libre con la restricción de que su longitud no podrá ser superior a 200 mm y su extremo deberá ser una esfera de un diámetro mínimo de 18 mm. La esfera puede estar rectificadas con un plano de una anchura mínima de 14 mm, los bordes del plano han de ser redondeados.



### **6.9. Acelerador**

El acelerador ha de ser de retorno automático de manera que se asegure su cierre en caso de que el piloto suelte el mismo.

## 7. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE

### 7.1. Carburador / Inyección

El carburador es de libre elección. Se prohíbe el uso de carburadores cerámicos.

Está permitido el uso de sistemas de inyección de carburante adicionales al carburador y la programación electrónica de los mismos. (Sistemas “powerjet”)

### 7.2. Depósito de combustible

El respiradero del depósito de combustible deberá estar provisto de una válvula de retención. El respiradero deberá verter en el depósito de sobrantes de líquidos.

El depósito de carburante de cualquier tipo deberá ir relleno con material retardante de llama o disponer de otro depósito flexible interno de seguridad. En el caso de los depósitos “no metálicos” es obligatorio el uso de este segundo depósito adicional de goma o resina. El fin de esta vejiga de seguridad no es otro que impedir el derrame de carburante en caso de rotura del depósito.

Está prohibido presurizar el depósito de carburante.

El tanque de gasolina deberá ser calificado como “apto” por la organización antes de la realización de las pruebas en cumplimiento de las consideraciones anteriormente expuestas.

### 7.3. Conductos de combustible

Todos los conductos de combustible del depósito al carburador o sistema de inyección deberán estar provistos de racords estancos de seguridad. De manera que en caso de desprendimiento del depósito de la motocicleta sea el racord el que se desconecte y no otras uniones del conducto. Por tanto, para la apertura del racord la fuerza aplicada deberá ser, máximo, el 50% de la fuerza necesaria para desprender cualquier otra unión o rotura del material componente del conducto.

### 7.4. Sistema de llenado

El tapón del depósito de combustible deberá ser estanco y estar provisto de un sistema seguro de cierre que impida a posibilidad de desprenderse en caso de caída.

### 7.5. Tipo de combustible

El combustible será administrado por la organización y corresponderá a gasolina comercial de 98 Octnos.

El aceite para la realización de la mezcla será de libre elección.

Está prohibida la utilización de aditivos al carburante mejoradores del índice de Octano.

## 8. SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

### 8.1. Refrigeración interna del motor

No se permite la modificación del sistema de refrigeración interna del motor.

### 8.2. Radiador

El número, la situación, el tamaño y la composición de los radiadores son libres siempre y cuando cumplan con los requerimientos dimensionales de las cotas generales de la motocicleta.

### 8.3. Líquidos refrigerantes

Los líquidos refrigerantes utilizados podrán ser agua o refrigerantes comerciales.

## 9. SISTEMA DE ADMISIÓN DE AIRE

### 9.1. Conductos de admisión

La composición, dimensiones y situación de los conductos de admisión de aire son libres siempre que éstas cumplan los requerimientos dimensionales de las cotas generales de la motocicleta.

### 9.2. Airbox

La composición, dimensiones y situación de las cajas de aire son libres siempre que éstas cumplan los requerimientos dimensionales de las cotas generales de la motocicleta.

### 9.3. Sistemas de sobrepresión

Está prohibido el uso de sistemas “turbo” para el aumento de presión de gases en la admisión. Únicamente se permite el aprovechamiento aerodinámico del movimiento del vehículo mediante el uso de tomas de aire y sistemas de airbox.

## **10. SISTEMA DE ESCAPE**

El sistema de escape será de libre elección siempre que cumpla los requerimientos dimensionales generales de la motocicleta y la normativa sonora.

## 11. INSTALACIÓN ELÉCTRICA

La composición de la instalación eléctrica deberá ser elaborada por cada equipo competidor. Esta prohibido el uso de una instalación comercial.

### 11.1. Cableado

El tipo de cable a utilizar, el diseño y la ejecución del mazo de cables son libres.

### 11.2. Conectores

El tipo de conectores es libre. Se deberá tener en cuenta la posibilidad del correcto funcionamiento eléctrico de la motocicleta en condiciones de lluvia.

### 11.3. Componentes

Se permite el uso de componentes comerciales. (bobinas, baterías, reguladores, conectores).

Todas las motocicletas deberán ir provistas de un botón de paro de seguridad en el lado izquierdo del manillar. Deberá estar indicado en color rojo para su fácil localización en caso de emergencia. Dicho botón de paro deberá cortar el suministro eléctrico a cualquier componente de la motocicleta.

## 12. SISTEMAS ELECTRÓNICOS

### 12.1. Centralita

La centralita para la gestión electrónica será proporcionada por la organización (coste aparte) a los equipos que la requieran. Se permite la utilización libre de otras centralitas.

### 12.2. Tablier

El sistema de información utilizado en el tablier es libre.

### 12.3. Otros sistemas electrónicos

Está permitido el uso libre de otros sistemas electrónicos como cambio semiautomático, limitadores de vueltas, sistemas de información, limitadores de velocidad, control de servos...

### **13. SISTEMAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS**

Esta permitido el uso de sistemas de adquisición de datos relativos a parámetros de motor, dinámica de la motocicleta y comportamiento del piloto.

Se podrán utilizar sistemas comerciales o la adaptación de sistemas de otro tipo de vehículos.

Así mismo, se permite la utilización libre de todo tipo de sensores tanto de fabricación propia como reutilización de adaptaciones.

El software utilizado podrá ser comercial o de diseño propio.



#### **14. OTROS COMPONENTES COMERCIALES**

Se permite el uso de elementos de adquisición comercial excepto los prohibidos explícitamente en este reglamento.

## 15. PROCEDIMIENTO DE VERIFICACIONES TÉCNICAS

Para el control y verificación de vehículos se creará una ficha para cada prototipo. Este documento será relleno por los verificadores técnicos en la fase previa a la competición. Una vez contrastados todos los apartados se deberá dar la calificación de “apto” para poder participar en las diferentes pruebas. Tras la verificación se fijará un adhesivo de la organización comprobante de la aceptación del prototipo.

### 15.1. Homologación del chasis

La organización se reserva el derecho de verificar el chasis mediante una prueba previa a la competición. Se habrá de presentar previo a la competición un estudio teórico de cargas sobre el chasis.

La prueba se realizará en un potro de ensayo. Se aplicarán dos tipos de carga no simultaneas. Una carga horizontal progresiva de 250 daN longitudinalmente a la motocicleta en los ejes de rueda delantera y otra vertical de 200 daN . No se admitirán deformaciones permanentes en la estructura del chasis.

Introducir sistema y dibujo de anclaje a las bridas de la tija para aplicar carga sistema de medición.

### 15.2. Verificación de cotas generales

Se medirán y supervisarán las cotas generales de diseño estipuladas en este reglamento.

### 15.3. Verificación de pesos

Se acondicionará un centro de verificaciones y controles donde los participantes podrán verificar su vehículo.

Se podrá solicitar por la organización controles de pesos en cualquier fase de la competición.

Los controles se realizarán sobre el vehículo en orden de marcha con todos sus sistemas y componentes además de los líquidos necesarios para su uso.

Inicialmente se realizará una calibración del sistema de medida.

Se realizarán tres pesadas del vehículo y la media de los tres resultados será el valor asignado.

La tolerancia en la medida es 1 kg por debajo del mínimo.

### 15.4. Verificación de ruidos

El prototipo será analizado en un espacio abierto donde no existan obstáculos en un radio de 10 m.

El ruido ambiente no podrá ser superior a 90 dB/A en un radio de 10 m.

La medida se realizará a 50 cm del extremo del tubo de escape y en un ángulo de 45°.

La medida límite será de 113 dB/A.

La verificación se realizará a un rango fijo de revoluciones del motor 5000 rpm.

### 15.5. Verificación del cumplimiento de la normativa de seguridad

Se realizará una verificación completa de cada uno de los puntos referentes a seguridad de cada uno de los apartados descritos en este reglamento. Por encima de cualquier criterio técnico a nivel de prestaciones o

construcción del vehículo deberá prevalecer, como prioritario, la seguridad de los participantes. Para ello, todos los prototipos deberán cumplir los requisitos de seguridad en cualquier fase de la competición. De manera especial se hace hincapié en la verificación del vehículo tras haber sufrido un accidente con el fin de garantizar la seguridad del mismo.

## 16. IDENTIFICACIÓN DE LA MOTOCICLETA

### 16.1. Números y fondos

Las medidas mínimas de los números serán de 140 mm de alto por 30 mm de ancho.

Las medidas mínimas de los fondos serán de 275 mm de ancho por 200 mm de alto.

El color de los números deberá ser negro y el fondo blanco.

Al menos 25 mm entorno a los números deberán estar libres de otros grafismos.

### 16.2. Identificación frontal

La motocicleta deberá ser identificada con un dorsal frontal que permita una visualización clara del vehículo durante la competición.

### 16.3. Dorsales laterales

Del mismo modo se deberá identificar la motocicleta lateralmente con el dorsal asignado.

### 16.4. Número de identificación de bastidor de la motocicleta

Cada prototipo deberá disponer de número de chasis grabado en el mismo para la identificación del mismo en cualquier situación.

### 16.5. Nombre de la universidad

En todos los prototipos deberá aparecer el nombre de la universidad o las iniciales en caracteres de un tamaño no inferior a 50 mm de alto por 30 mm de ancho.

### 16.6. Espacio en el bastidor para adhesivo de verificación técnica

Se deberá proveer al bastidor de un espacio mínimo de 70 mm de ancho por 40 mm de alto para la fijación del adhesivo de verificación de la organización. Si no directamente en el bastidor, se deberá habilitar una placa para la fijación del mismo.

### 16.7. Espacio para soporte y alojamiento del transponder

Se deberá habilitar un espacio para la fijación del transponder y su soporte. Este espacio deberá ser de un mínimo de 120 mm de alto por 120 mm de ancho, 60 mm de fondo.

El espacio deberá estar localizado en la parte derecha del vehículo y en una posición protegida de posibles caídas.

No deberá existir obstáculo de interferencia en la línea entre el transponder y el receptor en el lugar de medición. La organización suministrará las características dimensionales del transponder así como el tipo de soporte.

Es responsabilidad del equipo la correcta fijación del transponder.

## **ANEXO III**

17. FIGURAS

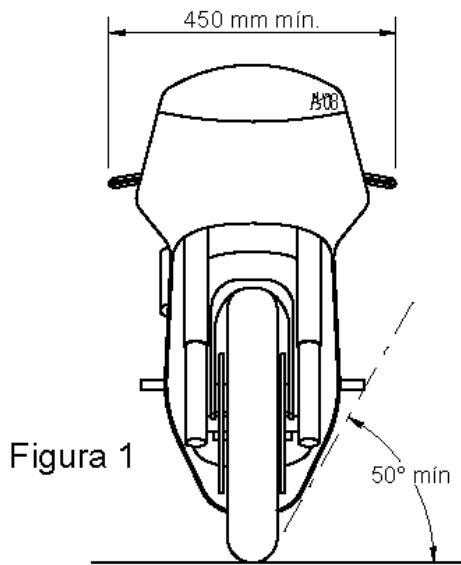


Figura 1

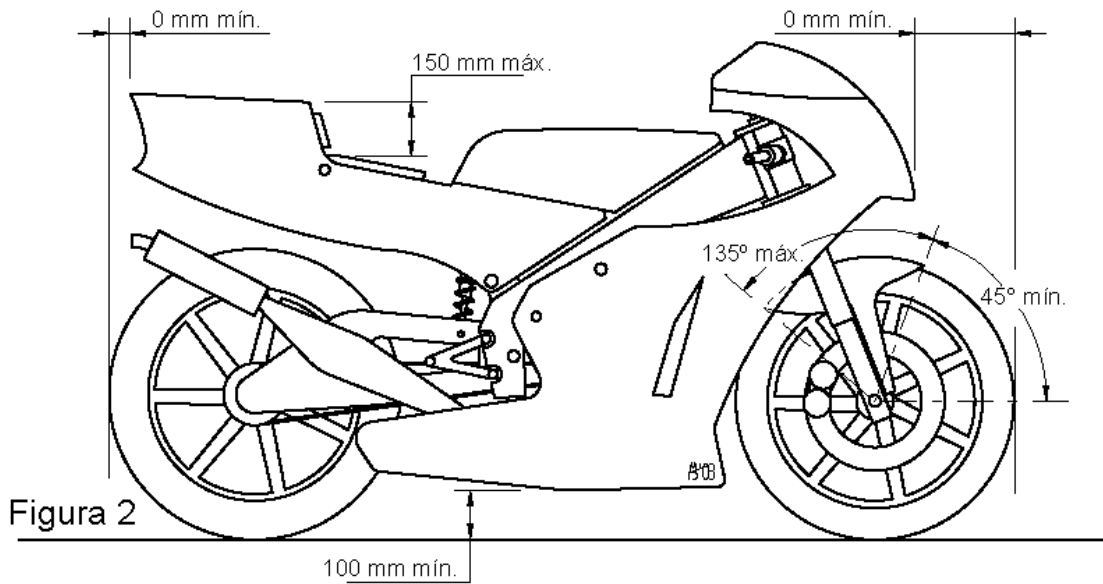


Figura 2

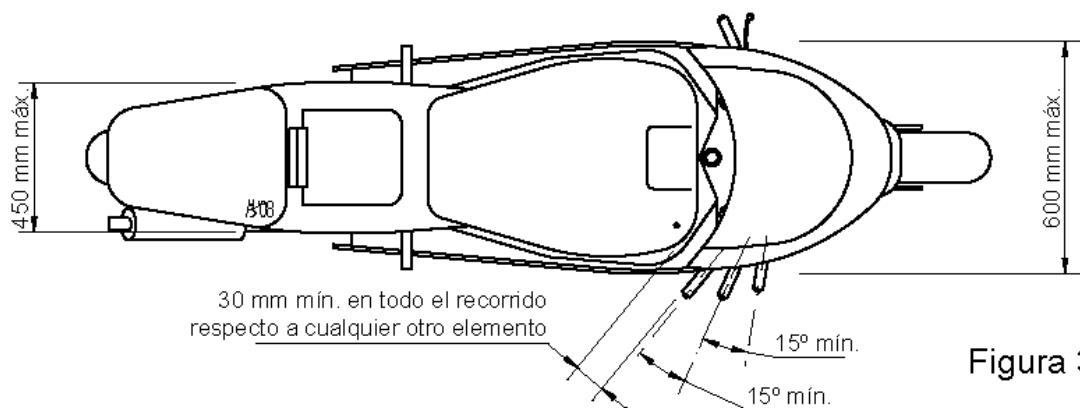


Figura 3