



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación :

INGENIERO INDUSTRIAL

Título del proyecto:

DISEÑO Y CÁLCULO ESTRUCTURAL DEL CHASIS DE
UNA MOTOCICLETA DE COMPETICIÓN

Ernesto Limousin Aranzabal

César Díaz de Cerio García

Pamplona, 10 de Marzo de 2010



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación :

INGENIERO INDUSTRIAL

Título del proyecto:

DISEÑO Y CÁLCULO ESTRUCTURAL DEL CHASIS DE
UNA MOTOCICLETA DE COMPETICIÓN

MEMORIA

Ernesto Limousin Aranzabal

César Díaz de Cerio García

Pamplona, 10 de Marzo de 2010

ÍNDICE

1	OBJETIVO.....	4
2	ANTECEDENTES.....	5
2.1	MotoStudent	5
2.1.1	La competición	5
2.1.2	Fases de la competición.....	5
2.1.3	El equipo	9
3	DATOS DE PARTIDA.....	11
3.1	Reglamento técnico	11
3.1.1	La motocicleta	11
3.1.2	Requerimientos generales del diseño	12
3.1.2.1	Dimensiones.....	12
3.1.2.2	Pesos	13
3.1.3	Ciclística	13
3.1.3.1	Bastidor	13
3.1.3.2	Suspensiones.....	13
3.1.3.3	Dirección	14
3.1.3.4	Estriberas	14
3.1.3.5	Llantas y neumáticos.....	14
3.1.4	Motor.....	14
3.1.5	Procedimiento de verificaciones técnicas	14
3.1.5.1	Homologación del chasis.....	14
3.1.5.2	Verificación de cotas generales	15
3.2	Componentes estándar	15
3.2.1	EL MOTOR.....	16
3.2.2	Horquilla	18
3.2.3	Amortiguador	18
3.2.4	Llantas.....	19
3.2.5	Neumáticos.....	19
4	CHASIS DE MOTOCICLETA	20
4.1	Historia	20
4.1.1	Chasis tubulares.....	21
4.1.2	Vigas	26
4.1.3	El motor como elemento estructural	29
4.2	Tipos y características.....	30

4.2.1	Chasis monoviga	31
4.2.1.1	Espina central	32
4.2.1.2	Monocasco	32
4.2.1.3	Doble viga	32
4.2.2	Chasis tubulares	33
4.2.2.1	Tubular convencional	33
4.2.2.2	Chasis triangulados	34
4.2.3	Motor estructural	35
4.2.4	Primer análisis	35
4.3	Análisis de las necesidades	36
4.4	Selección de tipo y material según necesidades	38
5	DISEÑO PRELIMINAR.....	42
5.1	Introducción	42
5.2	Diseño conceptual	42
5.2.1	Configuración geométrica	43
5.2.1.1	Parámetros geométricos	43
5.2.1.2	Bocetos	47
5.2.2	Selección de la geometría	54
5.2.2.1	Test de rigidez longitudinal	56
5.2.2.2	Test de rigidez torsional	58
5.2.2.3	Test de rigidez lateral	60
5.2.2.4	Análisis	62
5.2.2.5	Conclusión	88
5.2.3	Diseño de anclajes y uniones	88
5.2.3.1	Pipa de dirección	89
5.2.3.2	Anclaje del basculante	91
5.2.3.3	La jaula	93
5.2.3.4	Anclaje del tirante	95
5.2.3.5	Anclaje del amortiguador	95
5.2.3.6	Anclajes auxiliares	97
5.2.4	Ajuste de diseño	97
5.2.5	Selección de diámetro y espesores	98
5.2.5.1	Ensayos a realizar	98
5.2.5.2	Cargas a aplicar	101
5.2.5.3	Análisis de resultados	103
6	ANÁLISIS DETALLADO EN ELEMENTOS FINITOS.....	108
6.1	Cargas estáticas	108
6.1.1	Frenada máxima	108
6.1.2	Combinación de frenada y curva	112
6.1.3	Carga máxima para la compresión del amortiguador trasero	116

6.1.4	Conclusión	121
6.2	Rediseño.....	122
6.2.1	Ensayos	123
6.3	Cargas estáticas con el motor incluido	127
6.3.1	Aceleración máxima	135
6.3.2	Conclusión	137
6.4	Análisis modal	138
7	ELECCIÓN DEL ACERO	146
8	DISEÑO DETALLADO	153
8.1	Pipa de dirección	153
8.2	Anclaje del basculante	154
8.3	Jaula	155
8.4	Anclaje del tirante del amortiguador	156
8.5	Anclaje del amortiguador	157
8.6	Anclajes auxiliares	158
8.7	Moto ensamblada	159
9	CONCLUSIÓN.....	162
10	BIBLIOGRAFÍA.....	163

1 Objetivo

El objetivo general que se pretende alcanzar con la realización de este proyecto, consiste en el diseño y cálculo de un chasis de moto de competición de 125 cc para su posterior fabricación y participación en la competición MotoStudent.

Más concretamente se pretende diseñar un chasis con una buena relación rigidez/peso capaz de soportar todos los elementos de los que se compone una motocicleta y tener un buen comportamiento dinámico. Todo ello ajustándose a un presupuesto dado y a unos márgenes de tiempo impuestos por la propia competición.

Para ello se estudiarán las 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.

Tras la elección del tipo y material del que se fabricará el chasis, se realizarán diferentes prediseños que serán valorados mediante herramientas de elementos finitos en busca del diseño que mejor se ajuste a las necesidades.

Una vez el prediseño haya terminado se procederá a realizar un estudio más detallado mediante elementos finitos del comportamiento del chasis ante diferentes situaciones de carga.

Por último solo faltará un diseño en detalle del chasis para su posterior fabricación. Cabe destacar que tras la fabricación del prototipo serán necesarios ensayos sobre él para la verificación de su buen comportamiento.

2 Antecedentes

Este proyecto surge como consecuencia del diseño de una moto de competición, el cual engloba el diseño de una gran cantidad de sistemas y mecanismos que la componen, como puede ser el chasis, sistema de admisión y de escape, basculante, aerodinámica, dirección, etc.

A continuación se va a explicar algo más sobre el origen de este proyecto, para permitir una mejor comprensión del marco en que se desarrolla.

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, 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 si 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.

2.1.2 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 ciñéndonos 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. Son 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 deber 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.
- Los grupos presentarán un prototipo para que sea revisado por los inspectores conforme a los aspectos dimensionales y de seguridad que indica el reglamento técnico.
- Por otra parte realiza 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 presentarán en el stand preparado por la organización los paneles informativo que consideren convenientes.
- El proyecto industrial será definido ante un jurado de expertos elegidos por la organización.
- Las pruebas de seguridad en banco pretenden ser una 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.

- 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. 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
- 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.

La competición de MotoStudent es sobre todo una competición ingenieril, no se puede resumir solo en una carrera. El ganador será el equipo que consiga la mayor cantidad de puntos en las distintas fases. La evaluación corresponderá en cada caso a un jurado designado por la organización, ésta es la forma en que se repartirán los puntos:

1. Proyecto industrial, 600 puntos en total como máximo 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, 400 puntos en total como máximo divididos en:

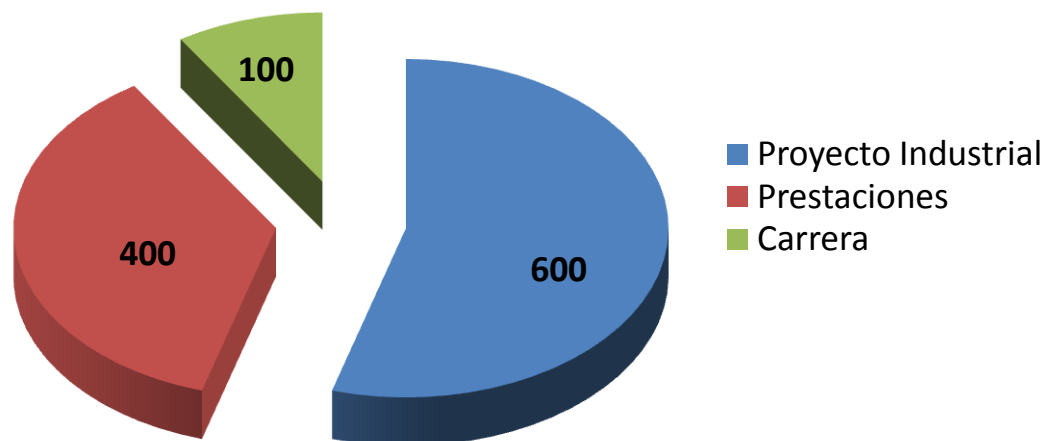
- Capacidad de frenada: 80 puntos
- Capacidad de aceleración: 80 puntos
- Maniobrabilidad: 80 puntos
- Estabilidad: 80 puntos
- Velocidad punta: 80 puntos

3. Carrera, 100 puntos como máximos 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.

Puntos en juego en cada fase



Así pues, mediante este sistema de puntuación la intención clara de la Organización es premiar aquellos proyectos industriales y de diseño mejores, dando menos importancia a la carrera, donde pueden intervenir muchos factores que los participantes no controlan, por ejemplo la elección del piloto, que será elegido al azar entre unos candidatos proporcionados por la organización el mismo fin de semana de la carrera. Además se puede ver que dentro de la puntuación de la carrera las diferencias por puesto no son muy exageradas y se da mucha 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 Cildo Guembe	ITIM	3	Estudio del escape
María Cildo 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 Ulayar	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. Además el equipo se encuentra dirigido por los profesores de la UPNa:

José Sancho

Cesar Díaz de Cerio

Y ha sido inscrito por en la competición con el nombre de: ETSIIT-UPNa Racing.



*“Diseño y cálculo estructural del chasis de
una motocicleta de competición”*

Además disponemos de 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 Datos de partida

A continuación se van a describir los datos de que se dispone para iniciar el diseño del chasis. Todo ello se encuentra relacionado con las pautas establecidas por la Organización, ya que es ella la que dispone las especificaciones de partida para el diseño de todas las motos que van a participar en la competición, estableciendo las limitaciones y libertades que se poseen para que la moto sea validada y pueda competir en el evento.

3.1 Reglamento técnico

La Organización ha establecido un reglamento técnico (Anexo II) que 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.

Por todo ello el primer paso a dar en la realización de este proyecto consistirá en el análisis detallado de dicho documento, para ser consciente de qué es lo que se puede y no se puede hacer respecto al diseño de la moto, y más concretamente del chasis. Por tanto este estudio deberá centrarse principalmente, en las partes del Reglamento referentes a todo aquel elemento o sistema relacionado con el chasis que tenga influencia en la realización de este proyecto.

Una vez analizado todo ello se pueden considerar las siguientes restricciones establecidas por la Organización que afectan directamente a la elaboración de este proyecto:

3.1.1 La motocicleta

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

3.1.2.1 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.

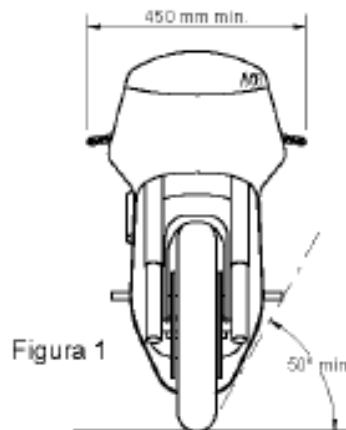


Figura 3.1

- 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.

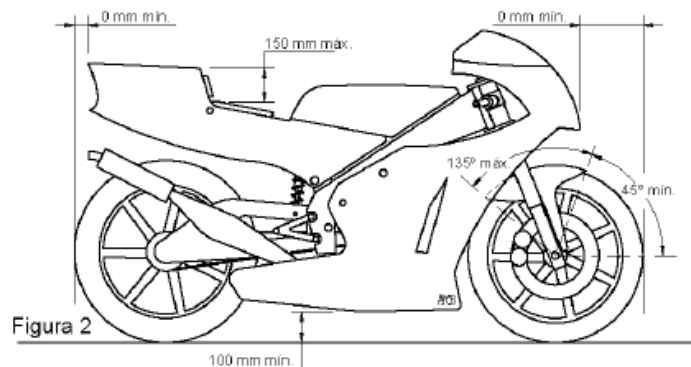


Figura 3.2

- 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.

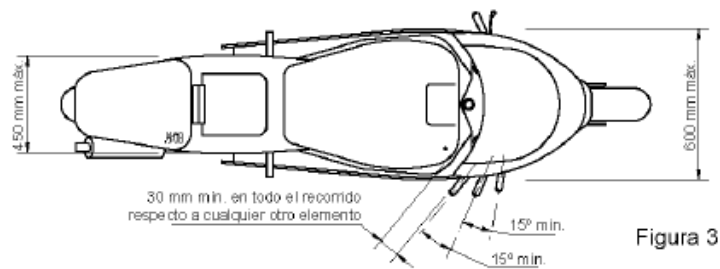


Figura 3

Figura 3.3

3.1.2.2 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 al final de la competición. Esta permitido lastrar el vehículo para alcanzar el peso mínimo.

3.1.3 Ciclística

3.1.3.1 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.

3.1.3.2 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.

3.1.3.3 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.

3.1.3.4 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.

3.1.3.5 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.

3.1.4 Motor

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

3.1.5 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.

3.1.5.1 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 aplicaran dos tipos de carga simultáneas. Una carga horizontal progresiva de 250 daN longitudinalmente a la motocicleta en los ejes de rueda delantera y otra vertical de 200 daK. No se admitirán deformaciones permanentes en la estructura del chasis.

3.1.5.2 Verificación de cotas generales

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

3.2 Componentes estándar

La Organización proporciona una serie de piezas que todos los modelos de motocicletas deben incorporar, en base a las cuales debe desarrollarse el resto del prototipo. Todo ello con el objetivo de proporcionar un punto de partida común para todos los equipos, que facilite de inicio el diseño global de la motocicleta, de modo que todos los prototipos se ajusten a una línea de trabajo orientativa y común, posibilitando una competencia objetiva entre los participantes.

Las piezas proporcionadas por la Organización son:

- Motor
- ECU
- Bujía
- Palanca de cambios
- Bobina
- Pipa
- Horquilla delantera
- Amortiguador trasero
- Sistema de frenos:
 - Bomba
 - Pinza delantera
 - Pinza trasera
 - Maneta
- Llantas
- Neumáticos

De entre ellas sólo algunas están en relación con el chasis objeto del proyecto. Por ello a continuación se aporta toda la información existente sobre ellas:

3.2.1 EL MOTOR

El motor proporcionado por la Organización puede observarse en la imagen siguiente, donde además se especifican algunas de sus partes:

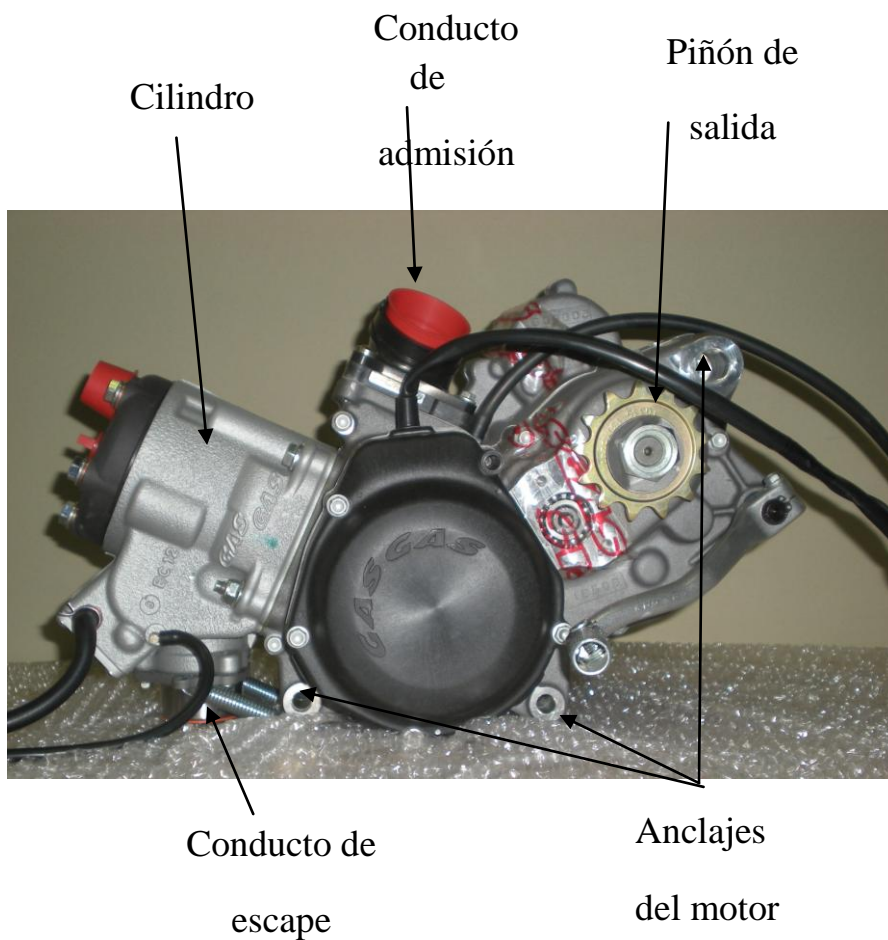


Figura 3.4

El motor presenta la siguiente ficha técnica:

Marca: Gas Gas

Modelo: MEH 12-08

Tipo: dos tiempos

Número de cilindros: Uno

Refrigeración: líquida

Diámetro por carrera: 54 x 54,5

Cilindrada total: 124 cc

Encendido: electrónico: CDI (KOKUSAN FP 8050)

Arranque: a palanca

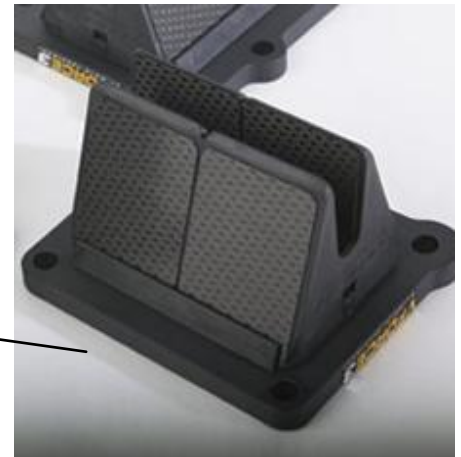
Embrague: multidisco en baño de aceite. Accionamiento hidráulico

Cambio: seis velocidades

Transmisión primaria: por engranajes

Caja de láminas: VForce 3

Válvula de escape: mecánica centrífuga



Los elementos más importantes del motor a tener en cuenta a la hora de diseñar el chasis son:

- Los anclajes: Al tratarse de un motor fabricado inicialmente para una motocicleta de enduro los anclajes se encuentran en su parte inferior, ya que se sujeta al chasis por medio de una jaula.
- Posición de la salida del escape: Es necesario conocer esta posición para permitir el acople del tubo de escape sin que interfiera con el chasis y además se pueda amarrar a este.
- Posición del carburador: Es necesario conocer su posición para que no interfiera con el chasis y además se permita colocar el airbox.

- Posición del piñón: Es necesario conocer su posición ya que es un elemento importante para el comportamiento dinámico de la motocicleta.

3.2.2 Horquilla

La competición nos proporciona una horquilla en caso de utilizar este sistema de amortiguación delantera. La horquilla es la que monta la Yamaha yzf 125 cc.



Figura 3.5-Yamaha yzf 125cc

3.2.3 Amortiguador

Se trata de un amortiguador SACHS.



Figura 3.6-Amortiguador SACHS

3.2.4 Llantas

La organización proporciona las mismas llantas a todos los equipos, estas son las que monta la derbi gpr de 50 cc.



Figura 3.7-Derbi gpr 50cc

3.2.5 Neumáticos

Los neumáticos al igual que las llantas son proporcionados por la organización y comunes para todos los equipos. Se trata de neumáticos DUNLOP motorsport, el delantero será un 95/70R17 y el trasero un 115/70R17.



Figura 3.8-Neumáticos Dunlop

4 Chasis de motocicleta

4.1 Historia

Las funciones de un chasis de moto son de dos tipos principales: estáticas y dinámicas. En el sentido estático, es obvio que el chasis debe soportar el peso de la moto y del piloto o pilotos, el motor y la transmisión y los accesorios necesarios como por ejemplo los depósitos de gasolina y aceite. Menos obvia quizás, la función dinámica del chasis es de una importancia fundamental. 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 considerables cargas impuestas por la transmisión, los baches, las curvas y los frenos. “Una relación correcta” quiere decir 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.

Parece evidente que ningún sistema de dirección puede considerarse como efectivo si las ruedas no se encuentran en contacto con el suelo, especialmente en el caso del tren delantero. Además el chasis debe permitir una buena manejabilidad de la moto, refiriéndonos a manejabilidad como al esfuerzo físico necesario para que la moto responda a nuestras acciones. 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 para así poder minimizar el cansancio del piloto. 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.

Por último debemos tener siempre en mente a la hora de diseñar un chasis que todo el diseño es 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 está dispuesta a pagar.

4.1.1 Chasis tubulares

A lo largo de los años, los diseñadores han sido repetidamente criticados por su aparente insistencia en tomar como base de partida para sus diseños una estructura con forma de diamante, derivada de los chasis de bicicleta. No obstante hay que tener en cuenta que las primeras motos eran prácticamente bicicletas dotadas de un pequeño motor que se anclaba en diversas ubicaciones, por lo que es lógico que esta fuera el tipo de chasis que se adoptara, especialmente en la época en que los pedales también se empleaban como ayuda ocasional al motor.

Hasta que la suspensión trasera comenzó a usarse de forma generalizada décadas más tarde, la gran mayoría de chasis eran de tipo diamante. Esto no es de extrañar ya que este tipo de chasis eran muy largos en sentido vertical, y esto resultaba ideal para alojar los motores monocilindricos populares en aquella época. En estas motocicletas el empleo de una pipa de dirección inclinada resultaba lo correcto para proporcionar el avance necesario a la rueda delantera para que la moto fuera autoestable en línea recta.

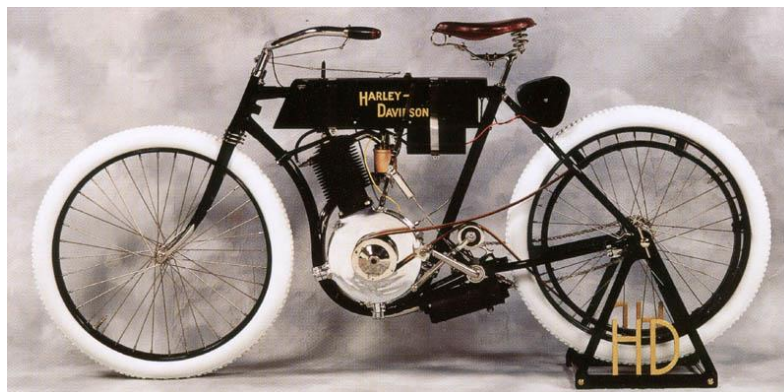


Figura 4.1-Chasis tipo diamante, Haley Davidson 1903

Una vez que los pedales fueron descartados, se siguió utilizando en chasis de tipo bicicleta, en este chasis el eje de los pedales fue reemplazado por el carter, que estaba abrazado por los extremos inferiores del tubo frontal y del tubo del sillín. Durante muchos años, las anteriores y posteriores a la primera guerra mundial, los fabricantes se decantaron de forma abrumadora por este tipo de chasis. Una variante temprana fue el chasis tipo “single-loop”, en el que el tubo frontal y el tubo del sillín estaban formados por un único tubo doblado que continuaba pasando por debajo del motor.

Ambos chasis fueron mejorados con el chasis de simple cuna. En este chasis, los extremos inferiores del tubo frontal y del tubo del sillín estaban separados y conectados

de forma rígida por una cuna que abrazaba el motor, los tubos que formaban la cuna se extendían hacia atrás hasta llegar a las orejetas que soportaban el eje de la rueda trasera.

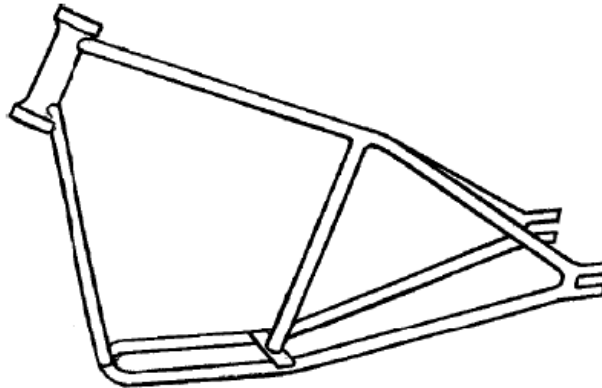


Figura 4.2-Chasis de simple cuna, sucesor del chasis tipo diamante

El siguiente paso fue el chasis de doble cuna, en el que los tubos de la cuna continuaban hacia arriba, hasta llegar a la pipa de dirección, mientras que por detrás también continuaban hasta las orejetas del eje de la rueda trasera. Ambos tipos de chasis de cuna alojaban motores monocilindricos con el cilindro montado en posición vertical, la cuna abrazaba un carter que solía ser muy estrecho y que se situaba muy bajo. Los motores que tenían un carter mas ancho tenían que montarse más elevados, lo que lógicamente elevaba también el centro de gravedad.

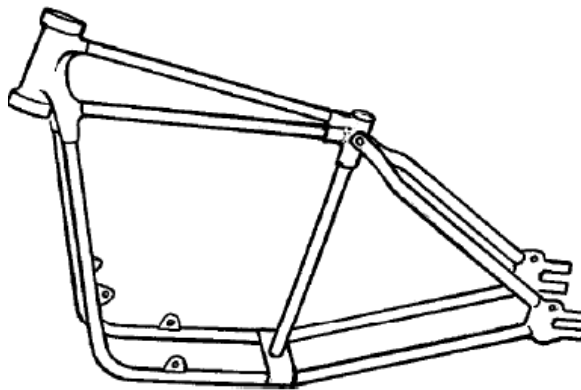


Figura 4.3-Chasis de doble cuna

No parece que la rigidez a torsión y flexión fuera un parámetro primordial en el diseño de estos primeros bastidores. Sin embargo, en el periodo de entre guerras hubo algunos esfuerzos importantes por mejorar la rigidez a torsión y flexión de los chasis, a base de triangular la estructura. El chasis de la Cotton fue un claro ejemplo de triangulación consiguiendo una excelente estabilidad.

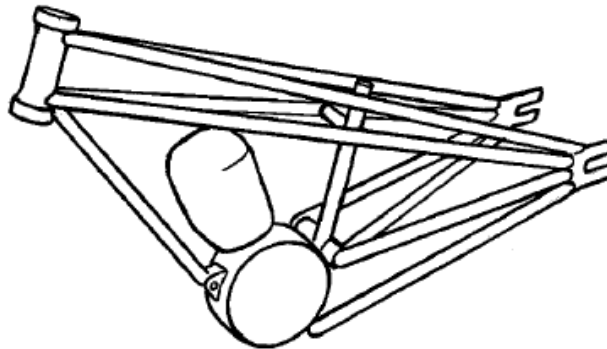


Figura 4.4-Chasis Cotton, triangulado tanto si se mira de lado como desde arriba.

Se llevaron a cabo algunos intentos para dar mayor rigidez al soporte de la pipa de dirección, incorporándolo en una pieza de fundición de sección en forma de H, que reemplazaba el tubo frontal que bajaba hacia abajo en la Greeves y el tubo superior en algunas BSA.

El chasis de la Francis-Barnett utilizaba el motor como parte estructural y esta triangulado completamente, aunque la parte trasera solo estaba triangulada en sentido vertical, por medio de unos tubos rectos que se montaban atornillados en sus extremos para facilitar las reparaciones.

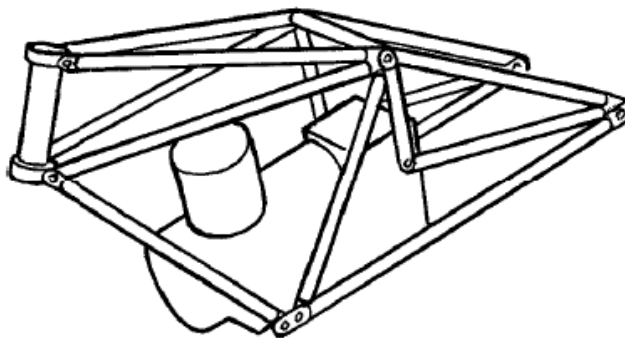


Figura 4.5-Chasis Francis-Barnett

La Scott también tenía un chasis al que el motor proporcionaba parte de su rigidez. La parte trasera estaba triangulada totalmente, pero la pipa de dirección solo estaba triangulada lateralmente. El freno delantero de aquella época tenía la suficiente capacidad de frenada como para inclinar significativamente la pipa en el plano longitudinal de la moto; aunque esto ocurriera, no habría afectado demasiado a la estabilidad, es mucho peor que la pipa se incline lateralmente. La Scott también alcanzó en aquella época una excelente reputación gracias a su buena estabilidad.

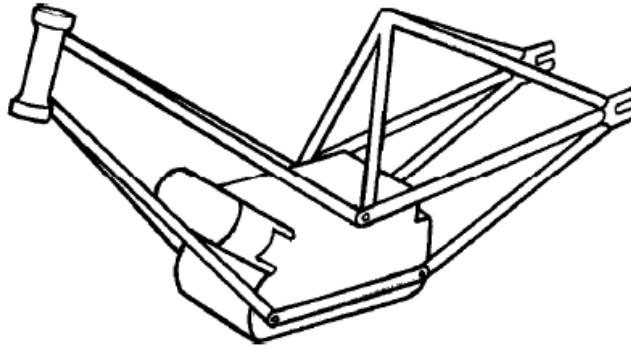


Figura 4.6-Chasis Scott

Cuando comenzaron a aparecer las primeras suspensiones traseras, muchos fabricantes simplemente abrieron la parte trasera de sus chasis de cuna para poder alojar los amortiguadores. En muchos casos lo único que había era un eje de rueda muy fino sujeto a dos amortiguadores que estaban juntos y por lo tanto en muchos diseños existía una gran diferencia de movimiento entre ambos lados, de forma que la rueda trasera se inclinaba desalineándose respecto al resto de la moto. A menudo, a pesar del aumento del confort y a veces la adherencia, tanto la manejabilidad como la estabilidad empeoraban en comparación con los modelos que no tenían suspensión.

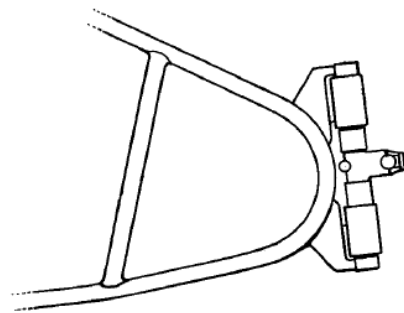


Figura4.7-Forma en que se incorporaba la suspensión trasera.

De hecho el modelo de Norton que incorporaba suspensión, consiguió rápidamente el apelativo de “garden gate”.



Figura 4.8-Chasis Norton “Garden gate”

En 1950 comenzó una nueva revolución cuando las Norton de carreras empezaron a utilizar el chasis “featherbed” diseñado por los hermanos McCandless. Resulta difícil sobreestimar la influencia que este diseño tuvo en el posterior desarrollo de los chasis.



Figura 4.9-Chasis Norton Featherbed

Incluso hoy, medio siglo después, muchos diseños actuales todavía muestran una descendencia directa de este diseño. La enorme mejora con respecto a de predecesor, tal y como indica su sobrenombre, probablemente debe menos a cualquier aspecto del diseño que a la combinación de varios. Su diseño de doble lazo tenía una eficiencia

estructural mediocre pero proporcionaba una rigidez adecuada. El diseño general consiguió un reparto de pesos bastante bueno y un centro de gravedad relativamente bajo teniendo en cuenta la posición vertical del cilindro. La horquilla telescópica fue una de las más robustas de la época, y la geometría de dirección proporcionaba un tacto suave y preciso. Como ocurre con muchos diseños destacados, el éxito de la Featherbed probablemente se debió más a que fue un producto adecuado que a tener una superioridad técnica abrumadora.



Norton Manx 1962

Figura 4.10-Norton Manx

En general, el acero ha sido el material más utilizado en la fabricación de chasis tubulares aunque también ha usado titanio y aluminio.

4.1.2 Vigas

Una forma completamente distinta de abordar el problema que supone conseguir una resistencia adecuada a la torsión y a la flexión consiste en usar un tubo de gran diámetro como pieza principal del chasis, de esta forma se puede obtener un diseño con un alto grado de rigidez, simple y ligero. Suponiendo que el tubo tenga la sección necesaria, no tiene por qué ser circular, aunque esta sea la mejor forma para conseguir una buena rigidez torsional. De hecho, cuando NSU popularizó rápidamente este tipo de diseño al comienzo del boom de los ciclomotores en los primeros años 50, el tubo – o viga, por usar otro nombre- estaba hecho con dos mitades estampadas y unidas posteriormente mediante soldadura, de forma que el conjunto final tenía una sección aproximadamente ovalada.

De todas formas, estaba claro que una viga plana no podía conectar directamente la pipa con el eje de la rueda trasera, tal y como hacían los cuatro tubos de la Cotton. Por este motivo la viga se bifurcaba en la parte trasera, dejando espacio a la rueda, y la sección abierta que quedaba en la cara interior de ambos brazos de cerraba soldando una

chapa doblada con forma de U que restauraba la rigidez. Al soldar la viga partiendo de dos mitades, se hacía posible incorporar cierta curvatura en el plano vertical.

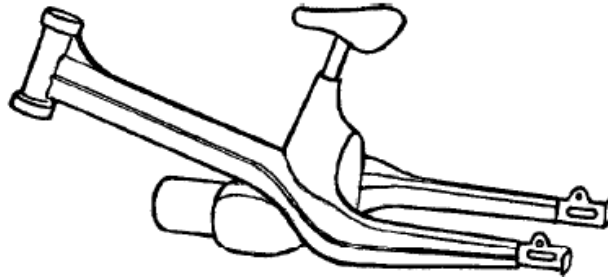


Figura 4.11-Chasis no suspendido para un ciclomotor

El empleo de un basculante trasero eliminó la necesidad de tener que bifurcar la parte trasera de la viga que hacía las veces de chasis, porque con este tipo de suspensión, es el eje del basculante y no el de la rueda el que debe estar conectado de forma rígida con la pipa de la dirección. Naturalmente, el propio basculante debe continuar manteniendo la rigidez torsional y lateral hasta llegar al eje de la rueda. En la NSU Max y en las de competición, la viga estampada de chapa de acero se curvaba hacia abajo en la parte trasera para conseguir una conexión directa entre la pipa y el eje del basculante trasero.



Figura 4.12-NSU Max

Debido a su sección transversal extremadamente grande, el chasis Ariel Leader fue probablemente el más rígido y sobresaliente de los chasis de tipo viga, mostrándose muy predecible cuando se usaba en las carreras.

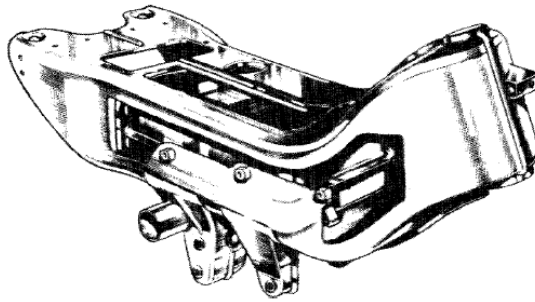


Figura 4.15-Chasis Ariel Leader

Hacer una conexión directa con un tubo recto no suele ser posible, aun con un motor monocilindrico horizontal. Sin embargo con ese tipo de motor, o digamos con un bicilindrico en línea de dos tiempos, el extremo final del tubo puede quedar muy cerca del eje del basculante, como ocurría en el chasis Foale para un motor Yamaha TZ 350.

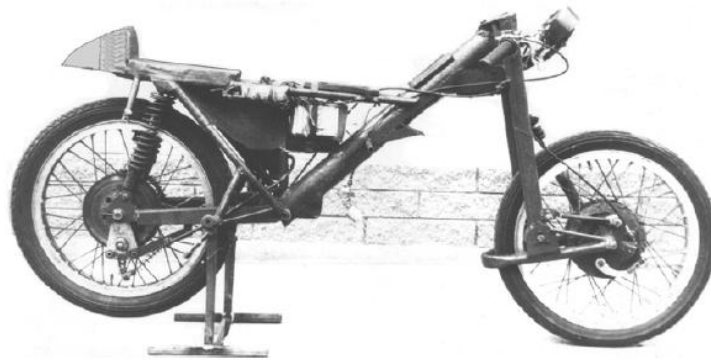


Figura 4.16-Chasis de espina central con conexión directa entre el eje del basculante y la pipa.

La distancia entre el extremo de la espina central y el eje del basculante se hace aun más grande cuando tenemos que montar un motor alto o voluminoso, por ejemplo un bicilindrico en línea de un litro. Un diseño que no tiene mucho sentido, y que fue utilizado por varios fabricantes, consistía en salvar esta distancia atornillando dos placas de aleación ligera al tubo principal. Con esa solución, dependiendo del diseño de detalle, se puede perder la rigidez torsional que proporciona el tubo principal.

Otra solución al problema que supone el empleo de un motor grande consiste en dividir la viga en dos, de esta forma las vigas pasan rodeando el motor, así llegamos a los chasis “doble viga” que comenzaron a hacerse populares en los años 80. Estos chasis se han construido tanto en acero como en aluminio, aunque normalmente este último es el material más utilizado. Este tipo de chasis puede llegar a ser muy rígido si se diseña y se construye de una forma adecuada.

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.

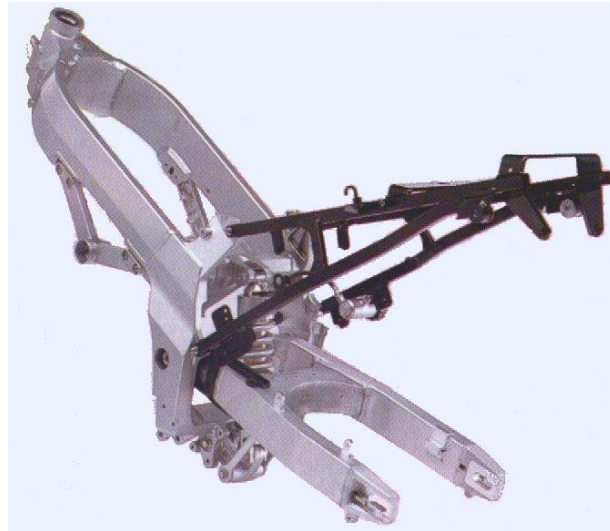


Figura 4.17-Chasis doble viga.

4.1.3 El motor como elemento estructural

La utilización del motor como parte estructural del chasis da lugar a una nueva generación de chasis. Uno de los primeros ejemplos es la P&M cuyos cilindros están situados muy altos hacen las veces de chasis. Las tensiones que podían recibir el cilindro y la culata se veían muy reducidas gracias a unos pernos iban desde la culata hasta el carter. Después de la segunda guerra mundial, todavía alcanzaron mayor celebridad y éxitos las Vincent, dotados de motores bicilindricos en V, y un chasis de espina central de sección rectangular hecha de chapa soldada, que servía a la vez como depósito de aceite.

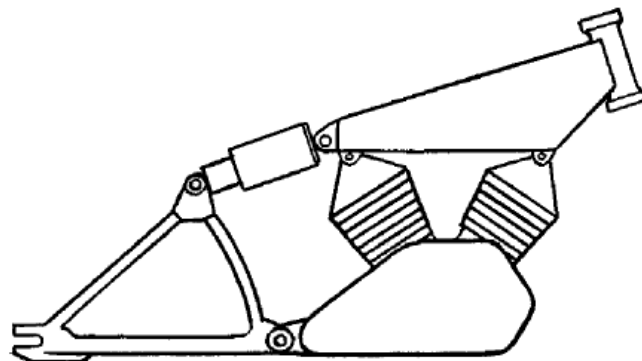


Figura 4.18-Chasis Vincent-HRD

La utilización de grandes motores con valores de rigidez alto ha dado lugar a la aparición de diferentes tipos de chasis. En este caso se utiliza un chasis multitubular y el anclaje del basculante se produce a través del carter.



Figura 4.19-Bott 1000 morlaco

Otro ejemplo de la utilización de este tipo de chasis utilizando el motor como elemento estructural es la Ducati de moto GP. Este chasis está fabricado en fibra de carbono, conectando la pipa con el motor y el eje del basculante esta directamente en el carter.



Figura 4.20-Ducati desmosedicini.

4.2 Tipos y características

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 esta habitualmente una horquilla telescópica, es un eje que se denomina “pipa de dirección”. La presencia de este tipo de amortiguador delantero hace que la geometría del chasis se

vea muy modificada. Por lo tanto al tratarse del sistema más común y el que aplicaremos en nuestra motocicleta consideraremos los diferentes tipos de chasis con horquilla.

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 determinante 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 estos igualmente 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. 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.

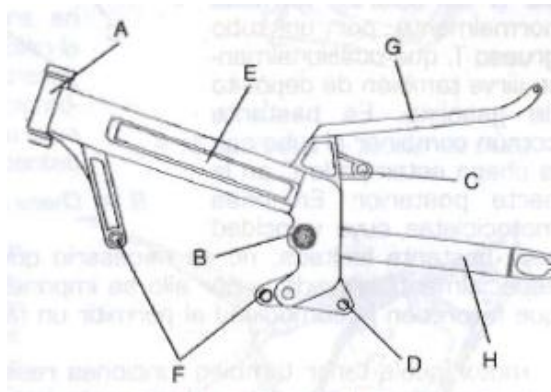


Figura 4.21-Chasis de doble viga

4.2.1 Chasis monoviga

Este título cubre varios tipos diferentes de chasis (espina central tubular, espina central hecha de acero estampado, 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.

4.2.1.1 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.



Figura 4.22-Chasis de espina central

4.2.1.2 Monocasco

Este tipo de chasis ha sido muy poco utilizado debido principalmente a sus dificultades de fabricación y de espacio. Ya que 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.



Figura 4.23-Honda NR500, chasis monocasco

4.2.1.3 Doble viga

Hoy en día es un diseño prácticamente universal en las motos deportivas más potentes y en casi todas las motos de competición utilizan este tipo de construcción. 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.

En prácticamente todos los casos, habitualmente 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. Muy a menudo, aunque no siempre, el subchasis va atornillado al chasis principal.

Desde un punto de vista estructural el chasis de doble viga podría considerarse como un chasis de espina central desdoblado. La experiencia dice que si se utiliza una cantidad suficiente de metal, se puede conseguir la rigidez necesaria incluso para un uso en competición, aunque desde el punto de vista de eficiencia estructural este tipo de chasis no es especialmente bueno. Incluso utilizando aluminio, no es un tipo de construcción que dé lugar a un chasis especialmente ligero y si se fabrica en acero resultaría un chasis pesado.

Una de las ventajas claras de este tipo de chasis frente a los multitubulares es la ventaja que ofrece al diseñador en cuanto al uso del espacio al trabajar con grandes motores. Especialmente en competición, este tipo de chasis permite un acceso 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.

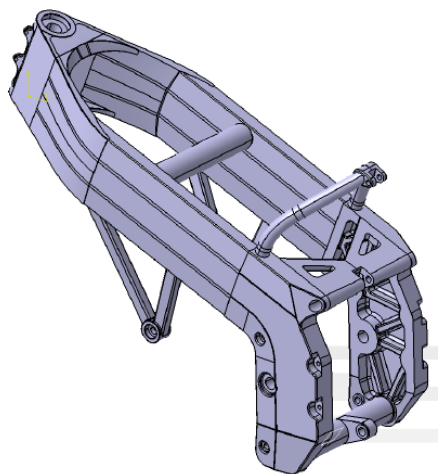


Figura 4.24-Chasis doble viga

4.2.2 Chasis tubulares

4.2.2.1 Tubular convencional

Aunque este tipo de chasis es de los más comunes, potencialmente 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 que

ofrece la propia sección del tubo. Más aún, normalmente estos diseños no consiguen proporcionar una triangulación significativa.

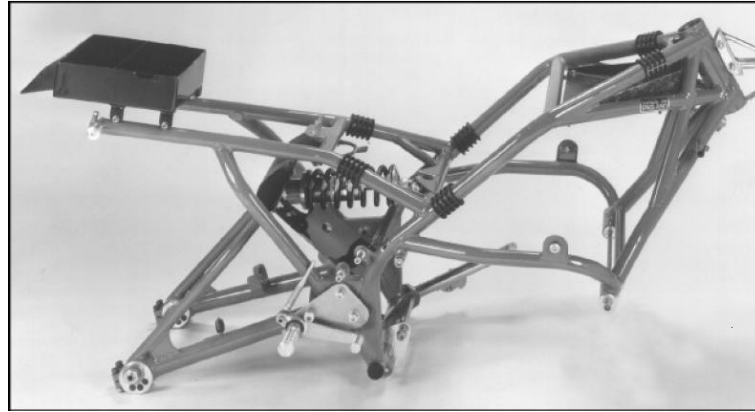


Figura 4.25-Chasis tubular convencional

4.2.2.2 Chasis triangulados

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 tipos de motores más comunes, hace falta 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.

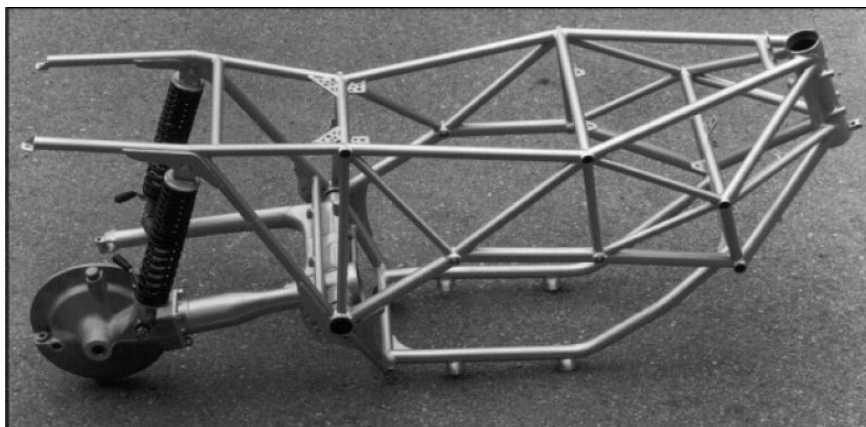


Figura 4.26-Chasis multitubular triangulado

4.2.3 Motor estructural

Potencialmente esta es la forma más eficiente de construir una moto que tenga un motor grande. El principio se basa en utilizar la rigidez del motor para conseguir conectar la pipa de dirección con el eje del basculante. Si alojamos este eje en la parte trasera de la fundición de la caja de cambios, solamente necesitaremos una pequeña estructura para unir la pipa de dirección a la zona superior del motor.



Figura 4.27-Diseño de Nicolás Petit, motor estructural

4.2.4 Primer análisis

Una vez vistos los tipos y características de los principales chasis vamos a realizar una primera selección del tipo que mejor se ajusta a nuestras necesidades.

Primero valoraremos la rigidez y el peso que cada tipo de chasis nos podría proporcionar. Esta cuestión es de vital importancia ya que debemos diseñar un chasis de una moto de competición que soportará cargas elevadas. Además el peso será algo determinante ya que todas las motos montaran el mismo motor.

El material con que se fabricará el chasis es también importante, ya que según el tipo, el diseño puede ser diferente. Además de esto el coste del material y de fabricación del prototipo son otros factores a tener en cuenta.

Por último, se valorará el uso del espacio, teniendo en cuenta la facilidad para realizar modificaciones sobre la moto en poco tiempo.

Mostramos una tabla con las principales características de los diferentes chasis:

Tipo	Características	Rigidez	Peso	Material	Fabricación	Espacio
Espina central		Alta	Alto	Acero/Aluminio	Coste bajo de producción-Útiles caros	Medio
Monocasco Doble viga		Media	Medio	Aluminio	Alto coste	Bajo
		Media/Alta	Medio	Aluminio	Alto coste de mecanización bloques de aluminio-Soldadura complicada	Alto
Tubular convencional		Media/Baja	Medio	Acero/Aluminio	Problema con tubos curvados	Medio
Tubular triangulado		Alta	Bajo	Acero	Elevado número de soldaduras	Medio

Cabe comentar que en la tabla anterior no se analizó el chasis que utiliza el motor como parte estructural a pesar que sus propiedades rigidez/peso son muy buenas. Debido a que el motor que nos proporciona la organización no está preparado para ser parte estructural desestimamos esta opción.

Vistas las características vamos a realizar una primera selección de los tipos de chasis que mejor se ajustan a nuestro propósito. Por un lado los chasis tipo espina central y monocasco son de elevado coste de fabricación además de que su relación rigidez/peso no es de las mejores, por lo que los desechamos. Ahora realizaremos un análisis más detallado de nuestras necesidades para realizar una buena selección entre un chasis de doble viga, tubular triangulado o uno tubular convencional.

4.3 Análisis de las necesidades

Para realizar una correcta elección final del tipo y material del chasis a fabricar primero estudiaremos cuales son todas las necesidades funcionales que debe cumplir. Para ello realizamos una búsqueda intuitiva mediante un “brainstorming” de forma que obtenemos la gran mayoría de requerimientos funcionales.

Rigidez

Es una de las características principales de un chasis. La estructura de la moto debe ser capaz de mantener los parámetros geométricos dentro de unos valores adecuados ante todas las condiciones de carga que preveamos que pueden tener lugar. La rigidez

está relacionada con la deformación temporal que sufre la estructura cuando le aplicamos una carga y después la descargamos. Por lo tanto trataremos de diseñar un chasis lo más rígido posible.

Cargas

El chasis tendrá que ser capaz de soportar todas las cargas sin entrar en la zona plástica del material. Soportará el peso de todos los componentes, del piloto, las reacciones en los neumáticos así como las cargas dinámicas que se generen en el funcionamiento de esta.

Peso

Como en todos los vehículos de competición el peso es una característica importantísima, por ello trataremos de reducirlo al máximo. Además en esta competición todas las motocicletas montaran el mismo motor de 125 cc, cuya potencia no es elevada, de forma que el peso de la motocicleta toma aun un valor mayor.

Material

El material seleccionado influirá tanto en el diseño como en el coste del prototipo.

Fabricación

- ***Dificultad:***

Dificultad de fabricación desde un punto de vista de conseguir los resultados esperados y de no encarecer demasiado el coste.

- ***Disponibilidad de empresa especializada:***

Disponer de personal cualificado para la correcta fabricación del prototipo.

- ***Coste:***

Tanto del material a utilizar como la mano de obra necesaria para la fabricación.

Cabe destacar que uno de los patrocinadores del equipo es una empresa especializada en la soldadura en acero.

Espacio

Nos referimos a la posibilidad de realizar cambios sobre la moto en el menor tiempo posible, es decir que sean accesibles los elementos modificables como por ejemplo el carburador. Esta función es necesaria en las motos de competición ya que se encuentran continuamente sometidas a cambios durante las carreras.

Variabilidad

Al tratarse de un primer prototipo y de no disponer de datos de partida, trataremos de realizar una configuración que nos permita realizar cambios sobre los parámetros geométricos de la motocicleta. Estos cambios se refieren a la posición del anclaje del basculante, la posición relativa del piñón respecto al anclaje del basculante y al ángulo de lanzamiento.

Montaje

El chasis tendrá que ser diseñado para que sea fácil el montaje de todos los elementos que componen la motocicleta. Además para ello se tendrán que utilizar herramientas estándares.

Estética

Al tratarse de una competición de ingeniería donde se valora tanto el diseño como la innovación es importante que la estética del chasis sea buena. Además para el piloto y para cualquier usuario de motos es importante que el chasis le transmita seguridad a primera vista.

Resistencia a impactos

Es importante tener en cuenta que el chasis será utilizado para la competición donde las caídas e impactos que pueda sufrir este son probables. Por lo tanto el diseñador tendrá que tener esto en cuenta para que el chasis sea capaz de soportar ciertas caídas.

4.4 Selección de tipo y material según necesidades

Para la designación de la mejor solución se va a elaborar una matriz de decisiones de modo que evaluaremos los diferentes tipos de chasis en función de nuestras necesidades. Esta técnica consiste en evaluar los distintos chasis en base a distintos criterios (técnicos, económicos, ergonómicos, etc.) de modo que podamos decidir cuál es el óptimo, teniendo en cuenta que se tratará de una solución de compromiso entre las ventajas e inconvenientes observadas en todos ellos.

Primero vamos a valorar cada una de las necesidades funcionales según se importancia. Daremos un 3 a aquellas necesidades que sean de alta importancia, 2 a las de media y 1 a las de baja importancia.

IMPORTANCIA	VALOR
ALTA	3
MEDIA	2
BAJA	1

La valoración de las necesidades funcionales según su importancia será:

Necesidades funcionales	Valoración
Rigidez	3
Cargas	3
Peso	3
Material	2
Fabricación	
• Dificultad	3
• Disponibilidad	3
• Coste	3
Espacio	2
Variabilidad	2
Montaje	2
Estética	1
Resistencia a impactos	1

Ahora vamos a valorar como cumple cada chasis los diferentes requerimientos funcionales.

CUMPLIMIENTO	VALORACIÓN
Muy bien	5
Bien	4
Normal	3
Mal	2
Muy mal	1

Necesidades\Tipos chasis	Doble viga	Tubular triangulado	Tubular convencional
Rigidez	4	5	3
Cargas	5	5	4
Peso	4	3	3
Material	3	4	4
Fabricación			
• Dificultad	3	4	4
• Disponibilidad	2	5	4
• Coste	2	4	3
Espacio	4	3	3
Variabilidad	4	4	3
Montaje	4	4	4
Estética	4	3	2
Resistencia a impactos	3	3	3

Una vez realizada la valoración del cumplimiento de las necesidades funcionales por cada tipo de chasis, vamos a obtener el producto de la importancia y el cumplimiento. Sumaremos todos los valores de cada chasis de forma que obtendremos un valor representativo del cumplimiento de las necesidades por cada tipo de chasis de forma que nos permitirá seleccionar el que mejor se nos ajusta.

IMPORTANCIA X CUMPLIMIENTO

Necesidades\Tipos chasis	Doble viga	Tubular triangulado	Tubular convencional
Rigidez	12	15	9
Cargas	15	15	12
Peso	12	9	9
Material	6	8	8
Fabricación			
• Dificultad	9	12	12
• Disponibilidad	6	15	12
• Coste	6	12	9
Espacio	8	6	6
Variabilidad	8	8	6
Montaje	8	8	8
Estética	4	3	2
Resistencia a impactos	3	3	3
SUMA	97	114	96

Según el análisis realizado la solución que mejor se ajusta a nuestras necesidades es el chasis de tipo tubular triangulado. Sus principales ventajas son su buena rigidez y su resistencia a las cargas además de sus buenas características de fabricación. El disponer además de unos de nuestros patrocinadores IMCA una empresa de soldadura en acero facilitará muchísimo la fabricación, ya que serán ellos los que suelden el chasis. El permanente contacto con ellos nos permitirá optimizar el diseño.

5 Diseño preliminar

5.1 Introducción

Las funciones principales de un chasis de motocicleta son de principalmente de dos tipos: estáticas y dinámicas. Desde el punto de vista estático el chasis debe de ser capaz de soportar el peso del piloto, del motor, la transmisión y todos los accesorios necesarios para el correcto funcionamiento, como pueden ser los depósitos de aceite y gasolina. La otra función es la que se refiere a la dinámica de la moto, 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 sea capaz de seguir la dirección deseada, el chasis debe ser capaz de proporcionar una buena resistencia a la flexión y a la torsión. Además debe conseguir mantener las ruedas en el mismo plano y que no se modifiquen los parámetros geométricos impuestos, ante las fuerzas a las que será sometido debido a los baches, la propia transmisión, las frenadas y las curvas.

Otra de las características que debe cumplir una motocicleta es la manejabilidad y el mantener el contacto de los neumáticos con la carretera. Para estos dos aspectos la rigidez del chasis toma un papel importante, siendo muchas veces las necesidades contradictorias entre sí. Por lo tanto, para realizar un buen diseño habrá que buscar la mejor relación entre ambas.

5.2 Diseño conceptual

Una vez desarrollados los requerimientos funcionales que nuestro producto debe cumplir hemos empezado a diseñar conceptualmente los distintos componentes y los mecanismos de funcionamiento del producto. Para ello hemos hecho bocetos y dibujos con el fin de explicar mejor las ideas que hemos tenido.

Para un correcto diseño del chasis dividimos el diseño en dos partes principales. La primera consiste en la configuración geométrica de las barras que unirán 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.

La segunda parte del diseño se centrará en el diseño de todos los anclajes y uniones, debido a que el chasis es el encargado de soportar todas las fuerzas estos deberán ser

estudiados en detalle. Además la necesidad de permitir la variabilidad de ciertas cotas hará que cada uno de los anclajes deba ser estudiado de forma individual.

5.2.1 Configuración geométrica

En cuanto a configuración geométrica nos referimos a la disposición de las barras que unen la pipa de dirección con el anclaje del basculante. Trataremos de optimizar la geometría que nos proporcione mayor rigidez en ciertos ensayos. Sin entrar con demasiada profundidad en cómo se producen los anclajes del subchasis, jaula, depósito, amortiguador trasero, etc.

Cuanto mayor sea el número de barras y mayor sea el espesor de estas conseguiremos una mayor rigidez. El problema es que un aumento excesivo del peso del chasis penaliza en carrera por lo que para nuestro caso buscamos una relación rigidez/peso adecuada.

El diseño 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 cálculo estructural del basculante y diseño del sistema de suspensión trasera de una motocicleta de competición”. Por lo tanto se buscará la eficiencia del chasis para estos parámetros geométricos.

5.2.1.1 Parámetros geométricos

Los parámetros geométricos para los que debe diseñarse el chasis son los siguientes:

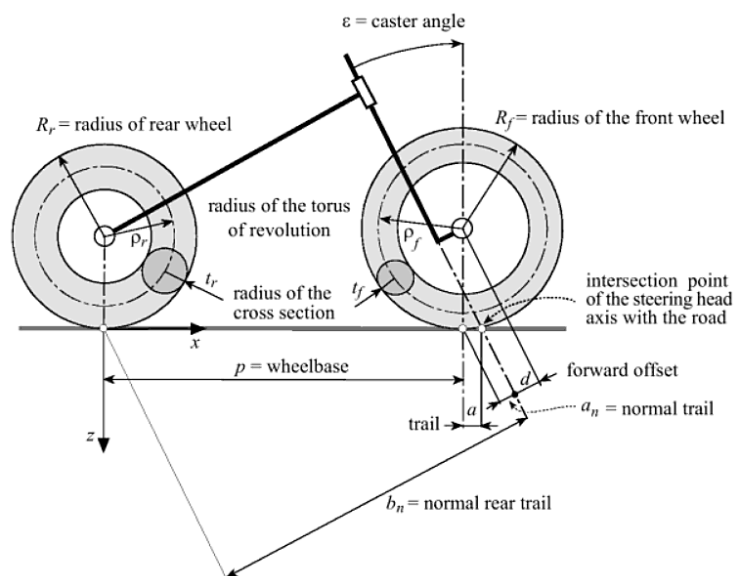


Figura 5.1-Parámetros geométricos de la motocicleta

- Distancia entre ejes:

Se trata de la 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:

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

$$\varepsilon= 0.40838 \text{ rad}$$

- Avance normal:

Es la 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:

Es la distancia longitudinal del centro de gravedad respecto a la rueda trasera.

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

- Distancia vertical del Centro de gravedad:

Es la 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:

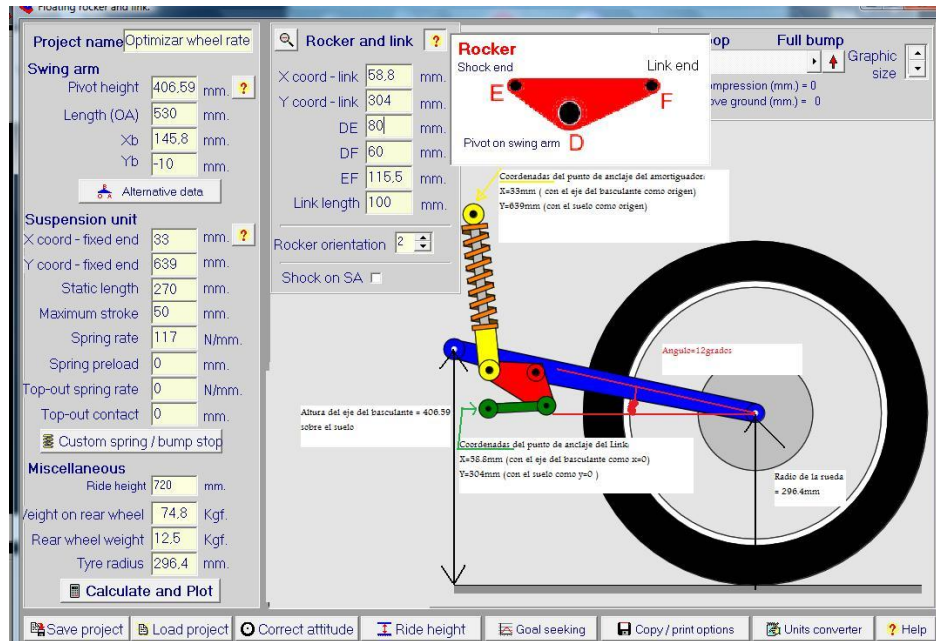


Figura 5.2-Parámetros geométricos del sistema de amortiguación.

Longitud del basculante = 530 mm

Ángulo del basculante = 12°

Altura del eje del basculante = 406,6 mm

- 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

Esta sería la configuración geométrica para la que debe diseñarse el chasis:

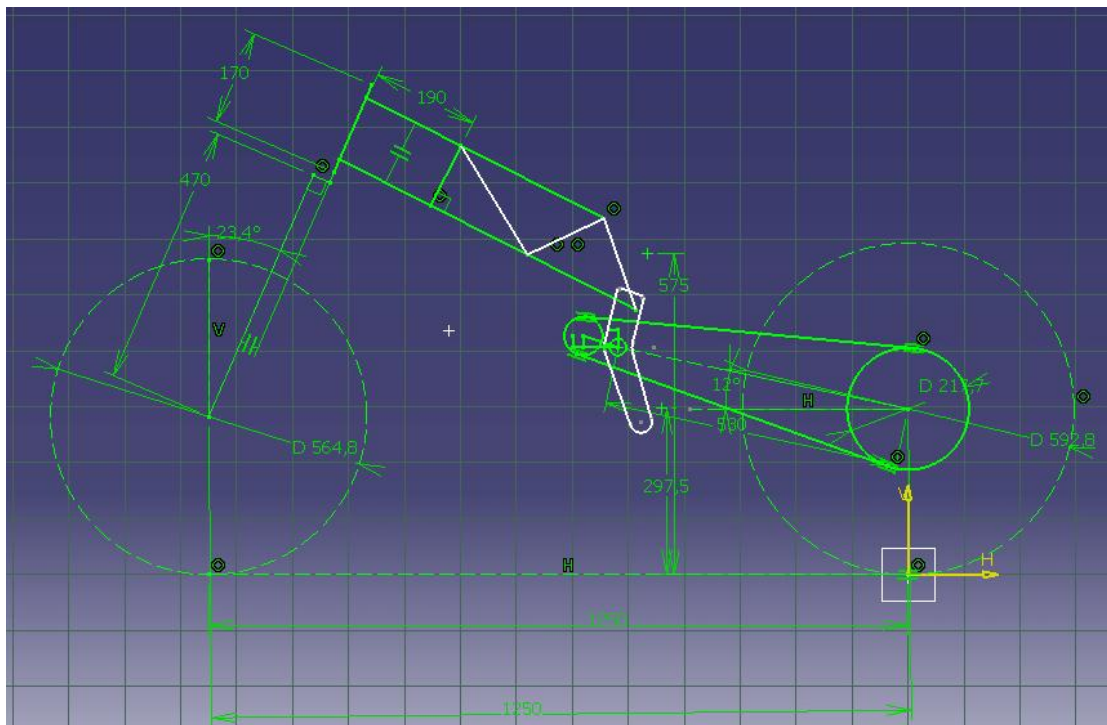


Figura 5.3-Geometría de la motocicleta.

5.2.1.2 Bocetos

Teniendo en cuenta los diferentes parámetros geométricos realizamos unos primeros bocetos.

- **Boceto 1:**

Vista lateral

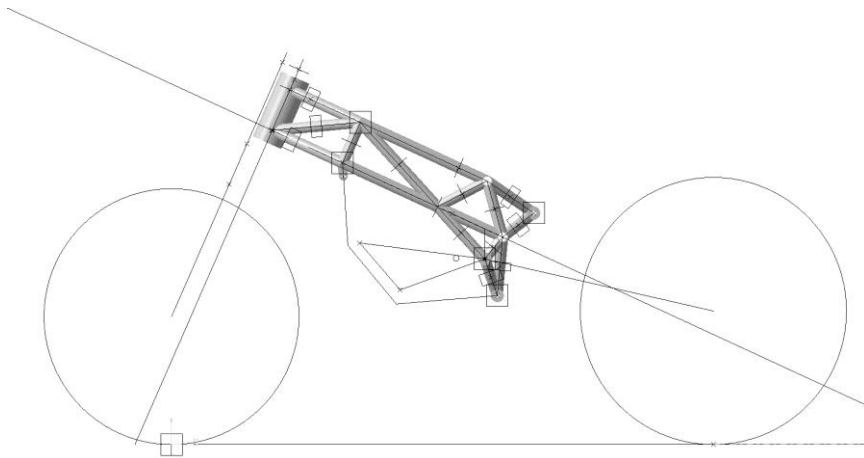


Figura 5.4

Vista isométrica

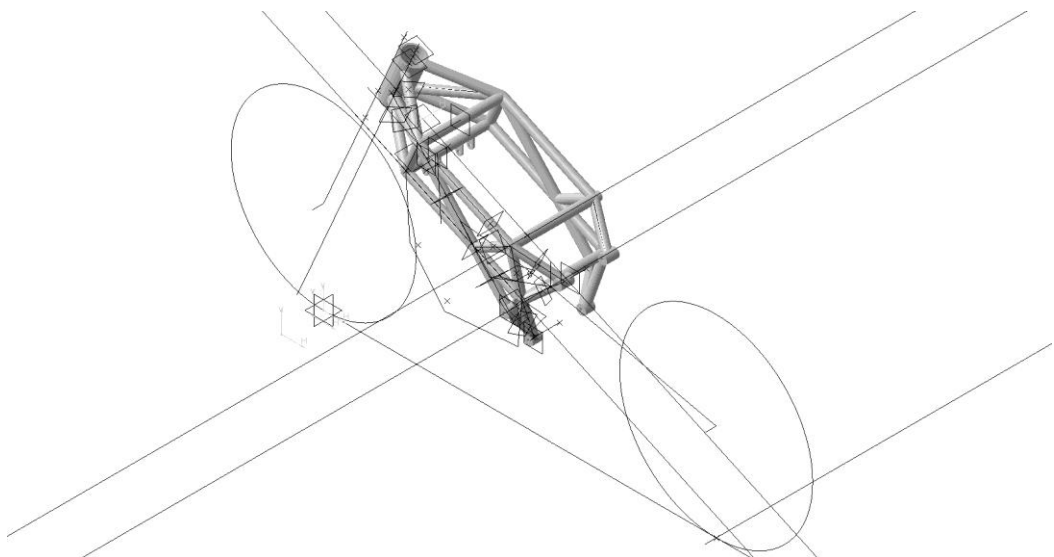


Figura 5.5

- Boceto 2:

Vista superior

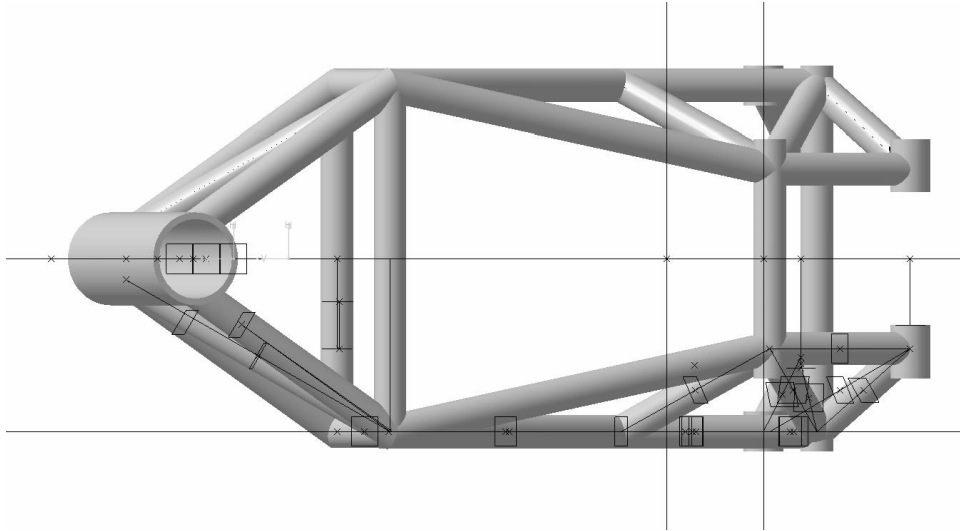


Figura 5.6

Vista isométrica

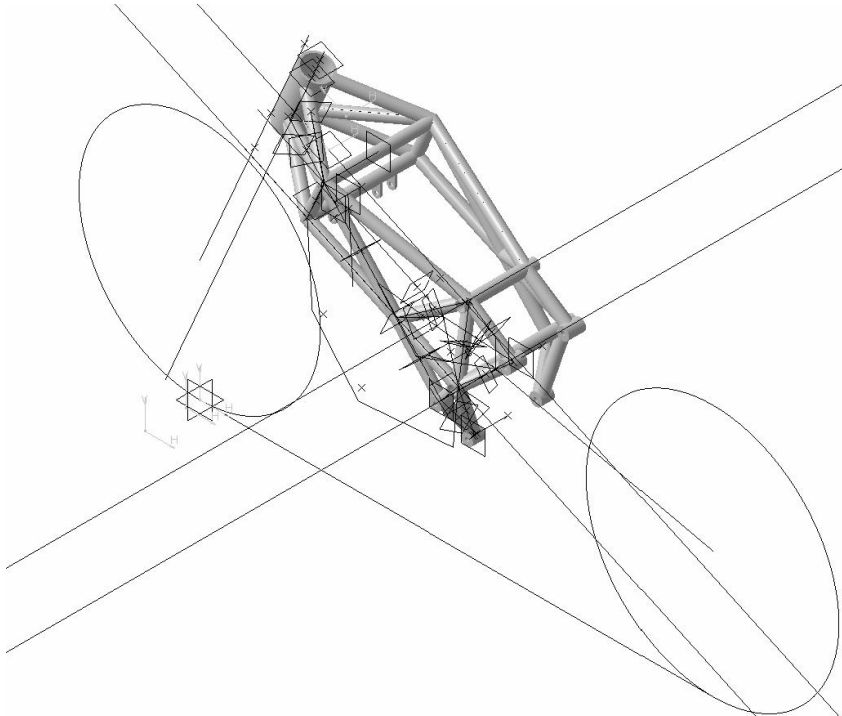


Figura 5.7

Este boceto se diferencia del primero únicamente en que las barras laterales superiores están curvadas.

- Boceto 3:

Vista lateral

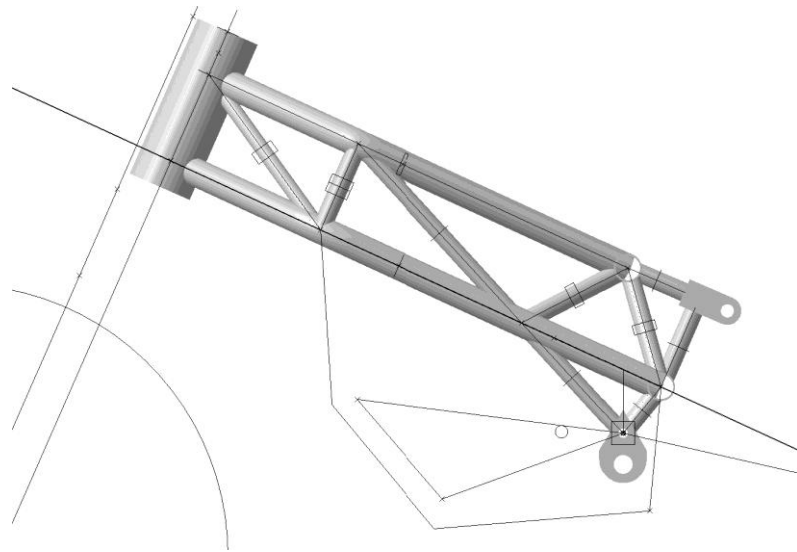


Figura 5.8

Vista isométrica

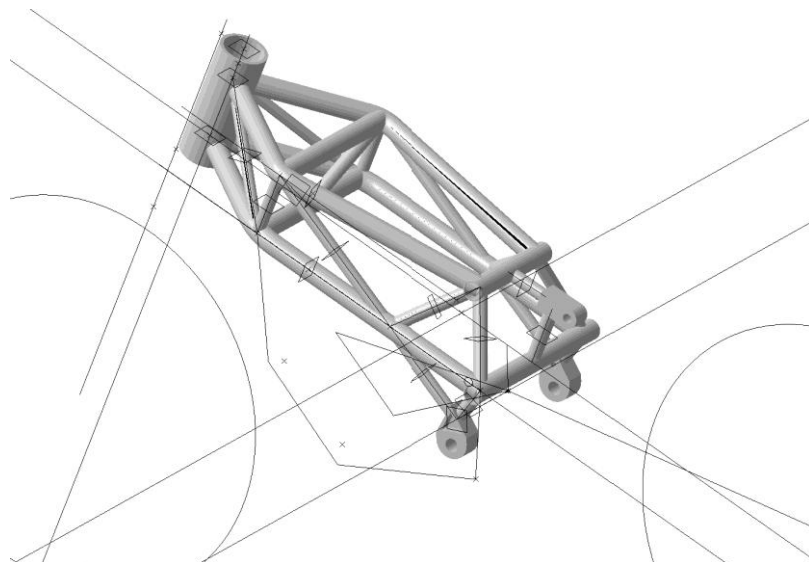


Figura 5.9

En este boceto variamos la posición de alguna diagonal así como los anclajes del basculante y del eje del basculante. Los diámetros de las diagonales son de un diámetro menor.

- Boceto 4:

Vista frontal

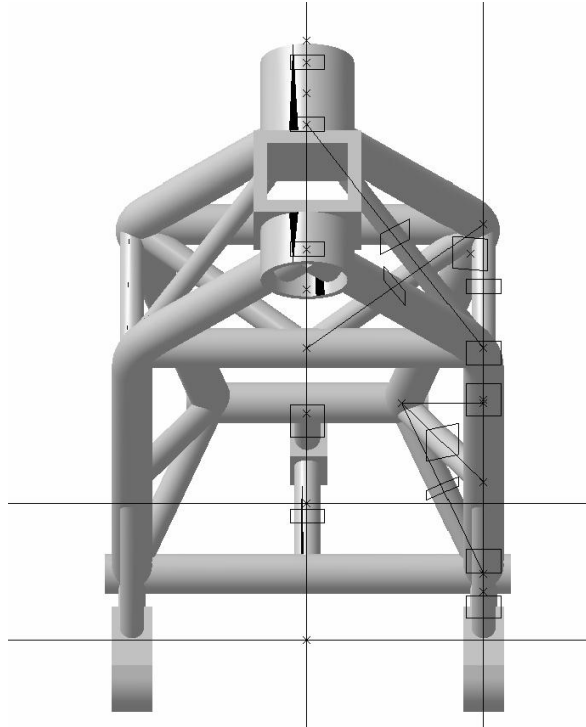


Figura 5.10

En este caso introducimos un cuadrilátero en la pipa para permitir el paso del airbox, de forma que el aire tenga una incidencia más directa.

- Boceto 5:

Vista lateral

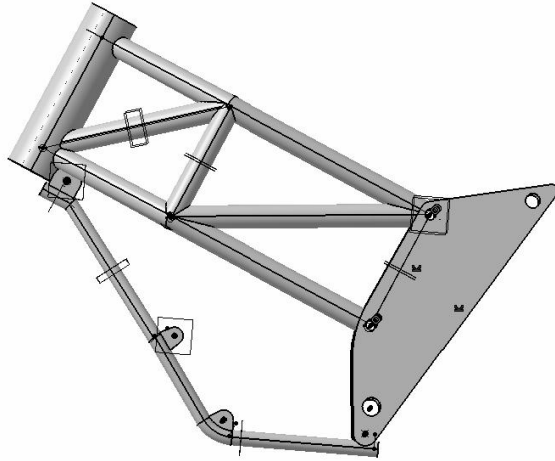


Figura 5.11

Vista isométrica

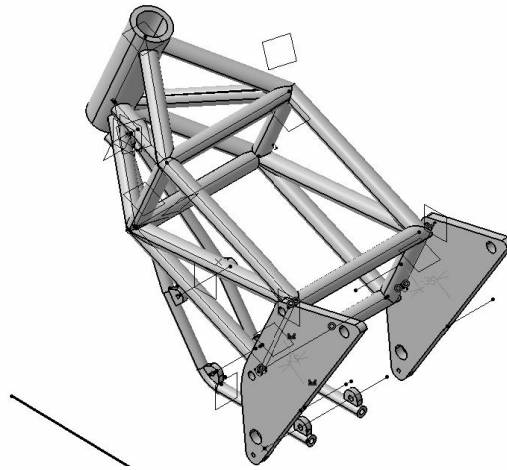


Figura 5.12

En este boceto se introducen unas chapas de acero intermedias donde se mecanizarán los anclajes del basculante. El inconveniente de esta solución es el aumento de peso debido al aumento de material de las chapas y la unión de esta con las barras. Como principal ventaja esta la fabricación, ya que nos permite obtener los parámetros geométricos simplemente mecanizando la chapa, además nos aportara mayor rigidez.

- **Boceto 6:**

Vista isométrica:

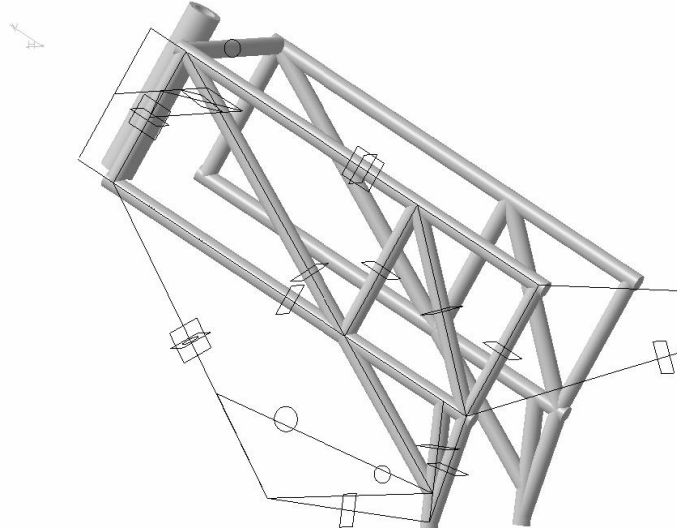


Figura 5.13

Se trata de otra distribución de las barras.

- **Boceto 7:**

Vista isométrica:

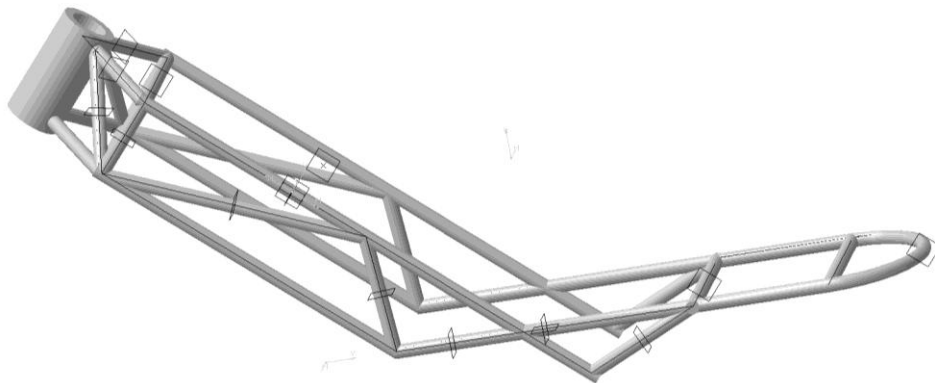


Figura 5.14

En este boceto se incorpora el subchasis y el motor es un elemento rigidizador además de incorporar el eje del basculante.

- **Boceto 8:**

Vista isométrica:

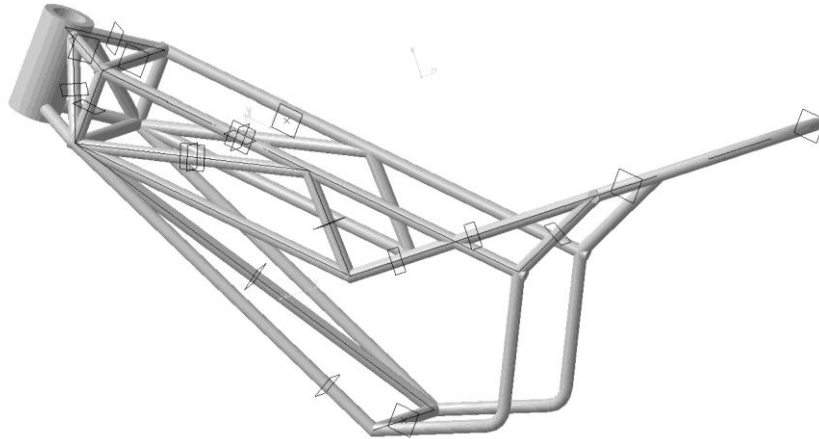


Figura 5.15

En este caso se incorpora la jaula.

- **Boceto 9:**

Vista isométrica:

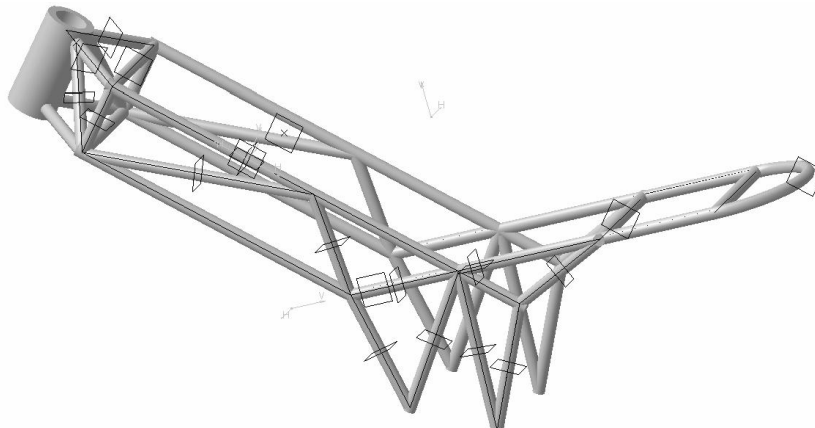


Figura 5.16

En este caso en vez de utilizar jaula sujetamos el chasis a través de unos tirantes.

5.2.2 Selección de la geometría

Una vez realizados los primeros bocetos y planteadas las primeras soluciones nos encontramos ante la toma de una de las decisiones más importantes, la elección de la geometría del chasis. Lo primero de todo fijamos un criterio de selección que nos permita desechar aquellas soluciones que no nos aporten mejoras y nos permita optimizar aquellas que sí.

Como hemos comentado anteriormente una de las principales características de un chasis es su rigidez, por lo que este será nuestro criterio de selección. Para la determinación de este valor realizaremos tres ensayos a cada una de las soluciones mediante un programa de elementos finitos “Marc Mentat”. Obteniendo de esta forma tres valores de rigidez para cada chasis, que serán comparados entre sí, hasta llegar a aquel que nos proporcione los valores deseados. Para la evaluación de la rigidez deberemos tener en cuenta lo siguiente.

Los chasis de las primeras motocicletas no eran lo suficientemente rígidos para soportar las cargas a las que estaban sometidos. Esto llevo a los ingenieros a tratar de rigidizar al máximo este elemento estructural de la motocicleta hasta que finalmente consiguieron llegar a soluciones que sobrepasaban la rigidez necesaria. Ahora lo que se busca es tratar de optimizar el valor de rigidez que nos proporcione un buen comportamiento dinámico.

Por lo tanto se trata de conseguir 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 atravesamos un bache y estamos inclinados, ya que en esta situación los amortiguadores de la motocicleta no son capaces de trabajar correctamente. En esta situación aparecen cargas sobre los amortiguadores que tienen componentes perpendiculares a la dirección de movimiento de estos produciendo de esta forma momentos flectores laterales.

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.

Buscaremos alcanzar valores máximos para los ensayos de flexión y torsión. El valor de la rigidez lateral no tendrá porque ser máximo pero si un valor elevado que no haga que las deformaciones sean excesivas.

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.

Antes de seguir con la descripción de los ensayos vamos a realizar una pequeña descripción teórica de lo que es la rigidez.

Rigidez

La rigidez es la capacidad de un objeto sólido o elemento estructural para soportar esfuerzos sin adquirir grandes deformaciones o desplazamientos.

Los coeficientes de rigidez son magnitudes físicas que cuantifican la rigidez de un elemento resistente bajo diversas configuraciones de carga. Normalmente las rigideces se calculan como la razón entre una fuerza aplicada y el desplazamiento obtenido por la aplicación de esa fuerza.

$$K_i = \frac{F_i}{\delta_i}$$

Donde:

F_i es la fuerza estática aplicada sobre el cuerpo en Newtons.

δ_i es el desplazamiento producido debido a la fuerza en metros.

K_i es el valor de rigidez en N/m

Normalmente F_i y δ_i son vectores tridimensionales por lo que K_i es una matriz (9x9)

Definimos la rigidez torsional como k como el momento aplicado entre el ángulo girado.

$$K = \frac{M}{\theta}$$

M será el momento aplicado en Nm.

θ será el ángulo girado en radianes.

K será la rigidez torsional en Nm/radianes

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.

5.2.2.1 Test de rigidez longitudinal

Este test trata de reproducir las fuerzas que se transmiten 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 un modelo de barras en Marc Mentad. El diámetro de todas las barras así como el material 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.

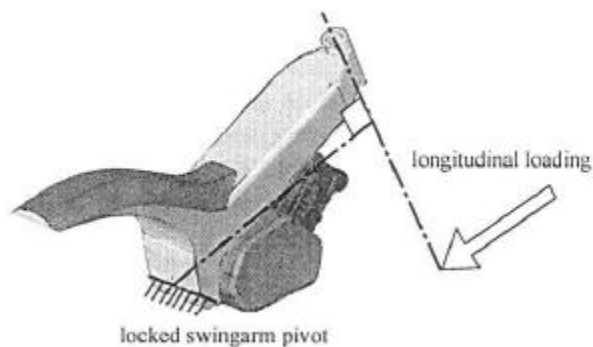


Figura 5.17-Test de rigidez longitudinal

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.

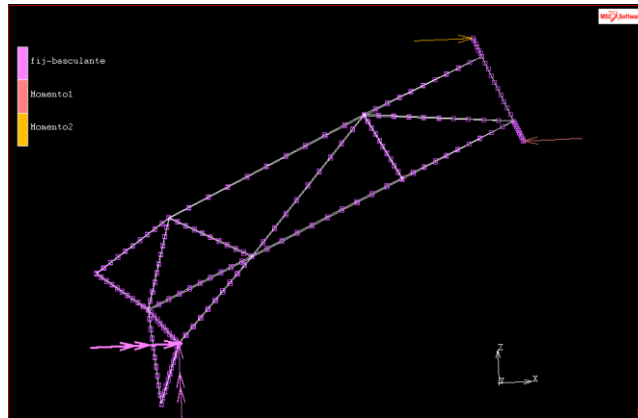


Figura 5.18-Vista lateral del chasis, condiciones de carga

Aplicaremos las cargas y mediremos los desplazamientos de los extremos de la pipa. Se observa como la aplicación de la carga supone una traslación y una rotación de la pipa de dirección respecto a su posición original. Despreciamos la traslación y obtenemos un valor característico de rigidez torsional para este ensayo midiendo el ángulo de giro de la pipa respecto a y.

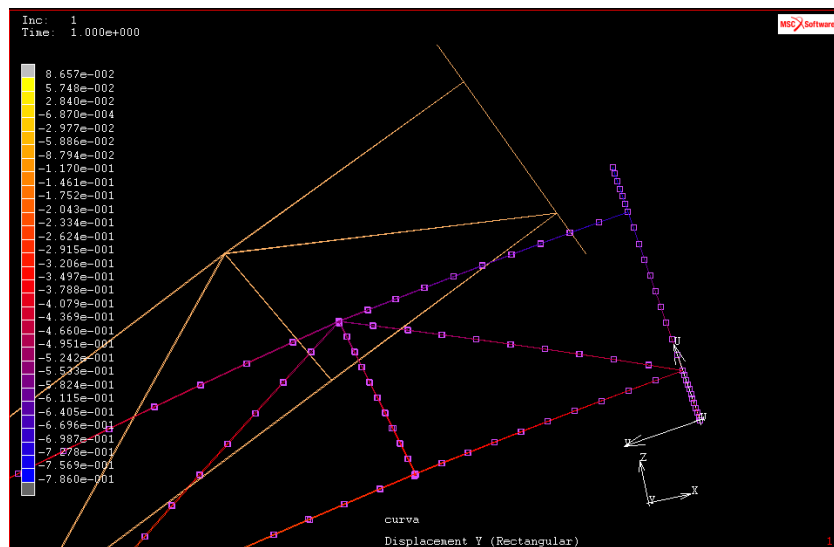


Figura 5.19-Deformación del chasis

El valor de rigidez obtenido es cualitativo en sí, por lo que es necesario una posterior reproducción del ensayo de forma experimental para obtener así una relación cuantitativa.

El valor de la carga aplicada no es de gran importancia ya que consideramos que el material se encuentra 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.

5.2.2.2 Test de rigidez torsional

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 trata de simplificar 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.

Al igual que en el caso del ensayo anterior introduciremos un modelo de barras en Marc Mentat. El diámetro de todas las barras así como el material 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.

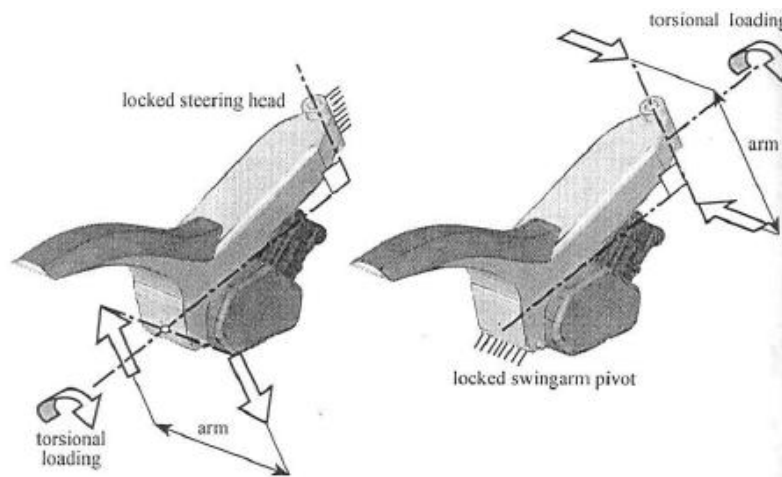


Figura 5.20-Test de rigidez torsional

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.

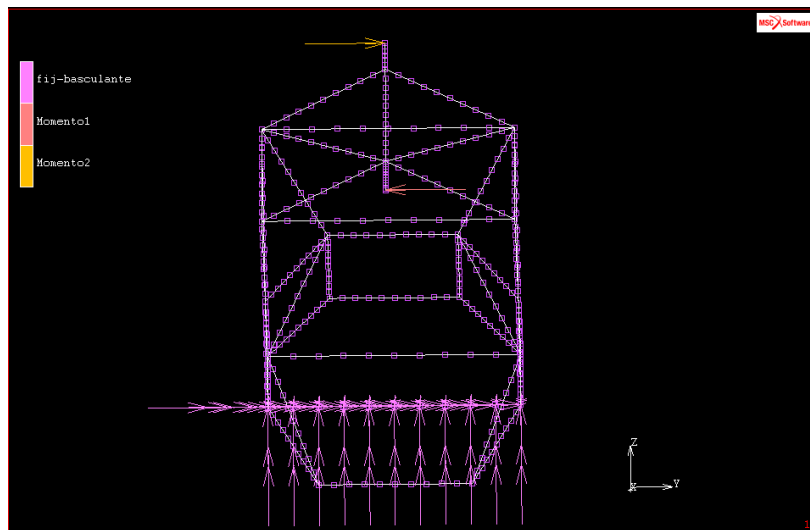


Figura 5.21-Vista frontal del chasis, casos de carga

Al igual que en el ensayo anterior aplicaremos las cargas en los extremos de la pipa y mediremos los desplazamientos de estos. La aplicación de estas cargas produce un desplazamiento y una rotación de la pipa de dirección, además la asimetría del chasis hace que estos no sean en un único plano. Para poder caracterizar el ensayo con un único valor de rigidez mediremos la torsión en el plano yz, despreciando las torsiones y desplazamientos en otros planos.

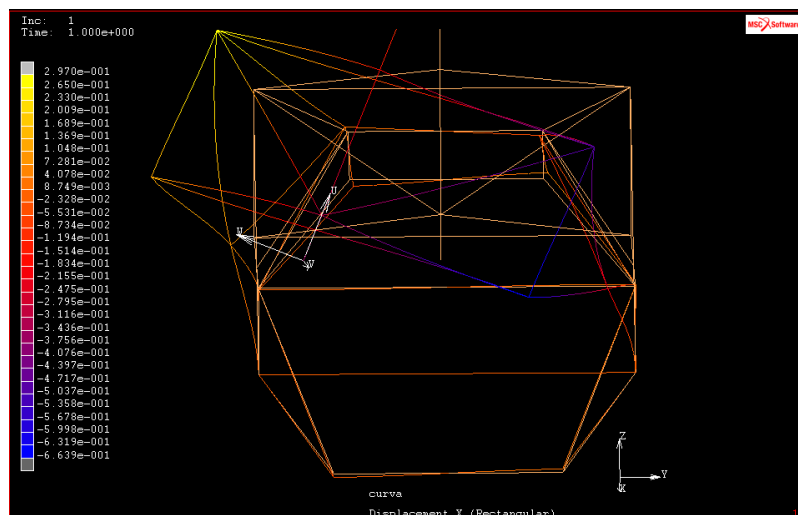


Figura 5.22-Deformación del chasis

Mediante este test obtenemos el valor de rigidez torsional dividiendo el momento aplicado entre el ángulo que gira la pipa.

5.2.2.3 Test de rigidez lateral

Mediante este test se trata de 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 del centro de la pipa. Al realizar la medida del desplazamiento sobre este punto no consideramos la torsión sufrida por el chasis.

Al igual que en los test anteriores introducimos los modelos de chasis en Marc Mentat mediante elementos barra del mismo diámetro y espesor. Además el material de todas estas barras seguirá siendo el mismo.

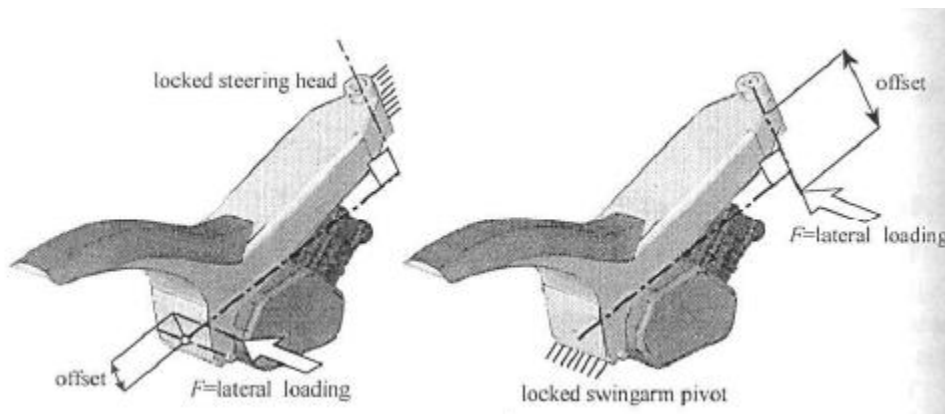


Figura 5.23-Test de rigidez lateral

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.

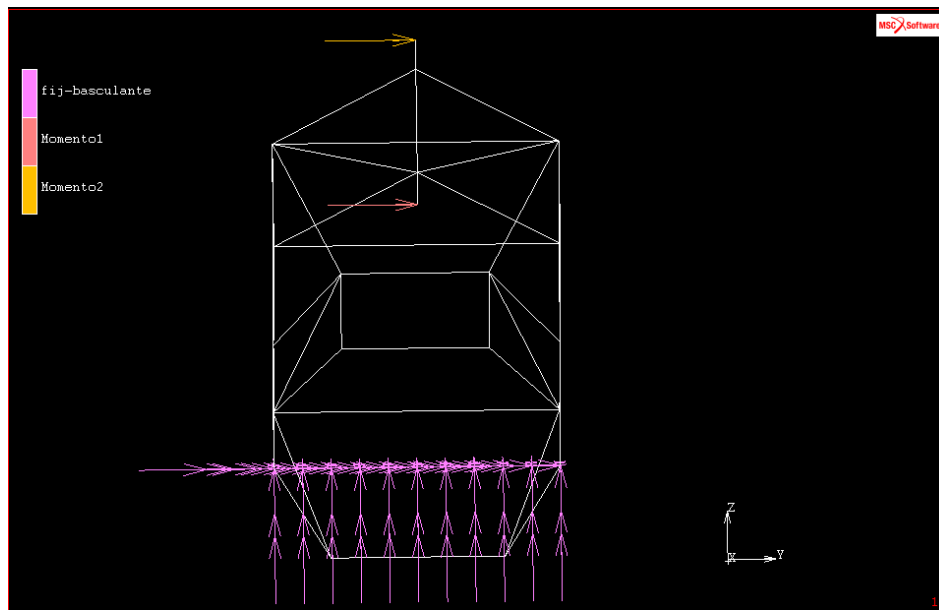


Figura 5.24-Vista frontal del chasis, condiciones de carga

Como en los casos anteriores la asimetría del chasis respecto al anclaje hace que no se produzcan únicamente desplazamientos en la dirección de aplicación de las cargas. Para caracterizar el ensayo con un único valor de rigidez consideramos únicamente el desplazamiento lateral midiendo la deformación del centro de la pipa, de esta forma despreciamos la torsión.

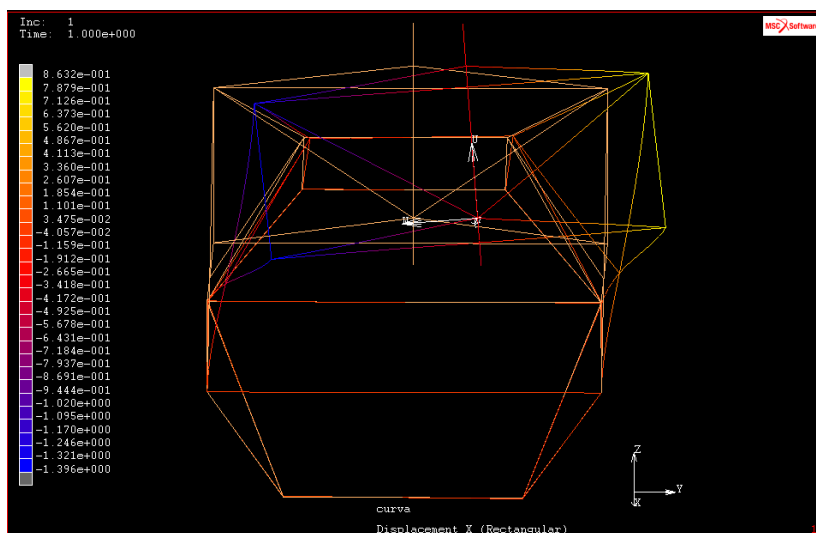


Figura 5.25-Deformación del chasis

A través de este test tomamos un valor de la rigidez lateral del chasis mediante el cociente entre la carga y el desplazamiento.

5.2.2.4 Análisis

Una vez definidos los tres test a realizar vamos a explicar cuál va a ser el criterio de selección. Obtendremos tres valores de rigidez, uno para cada ensayo. Vamos a tratar de maximizar la rigidez torsional y longitudinal. Para el caso de la rigidez a flexión vamos a buscar un valor elevado pero permitiendo cierto desplazamiento controlado. Hay que tener en cuenta que este dato será bastante menor que los dos anterior ya que para este ensayo no se tiene en cuenta la presencia del motor y la jaula.

Para la optimización de la geometría vamos a partir de tres modelos diferentes de chasis a los cuales iremos modificando la distribución de las barras hasta llegar a la que más nos favorezca.

CHASIS 1

- Modelo 1

El primer modelo es el visto anteriormente.

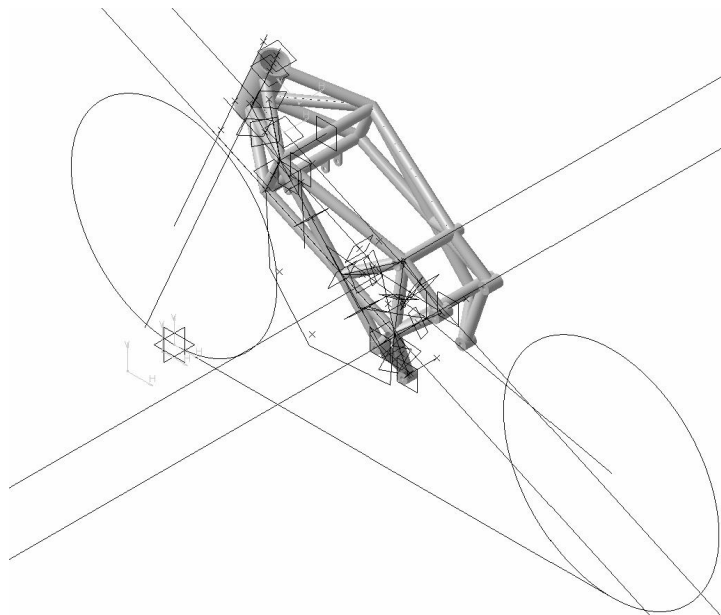


Figura 5.26

Realizamos los tres test y los valores obtenidos para la rigidez son los siguientes:

	Valores de rigidez	Chasis1
Frenada	Kt (Nmm/º)	4353556.1
Torsión	Ktf (Nmm/º)	3442905.47
Flexión	Kf (N/mm)	2608.24204

- Modelo 2

Este es el modelo 2 al cual modificamos las barras superiores, pasando a ser rectas.

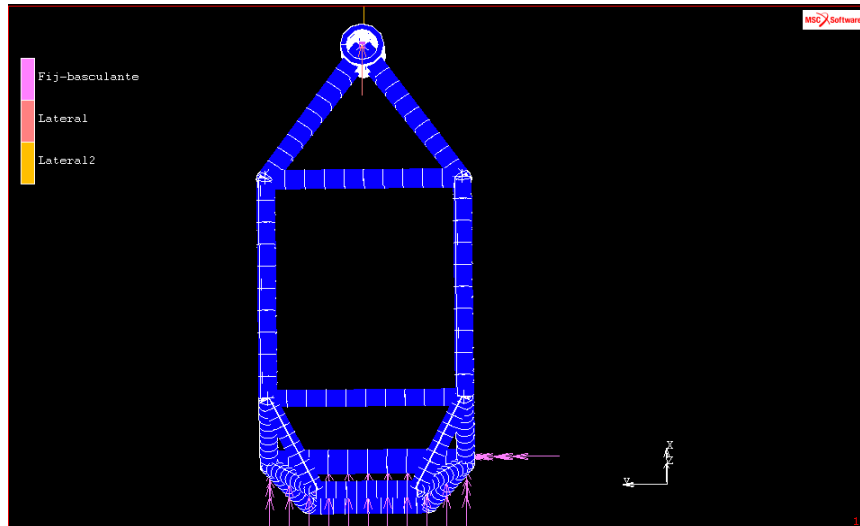


Figura 5.27

Los valores de rigidez son los siguientes:

	Valores de rigidez	Modelo 2
Frenada	Kt (Nmm/°)	2665435.51
Torsión	Ktf (Nmm/°)	3146090.67
Flexión	Kf (N/mm)	2018.79498

Vistos estos valores, en principio parece que el hecho de no curvar las barras superiores hace que el valor de la rigidez en todos los ensayos sea menor.

- Modelo 3

Para este modelo partimos del modelo 2 y aumentamos la anchura del chasis. Pasamos de una anchura de 260 mm a 300 mm.

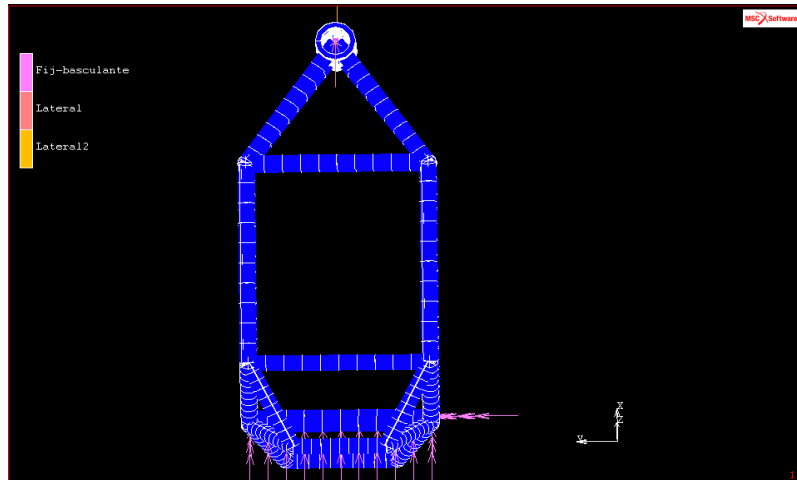


Figura 5.28

Los valores de rigidez son los siguientes:

	Valores de rigidez	Modelo 3
Frenada	K_t (Nmm/°)	6085620.48
Torsión	K_{tf} (Nmm/°)	3772557.81
Flexión	K_f (N/mm)	2512.36082

Aumenta la rigidez en los tres ensayos, por lo que parece interesante realizar esta modificación.

- Modelo 4

Partiendo del modelo 2 aumentamos la distancia a la que se las barras se unen a la pipa de dirección, pasamos de 100 mm a 120mm.

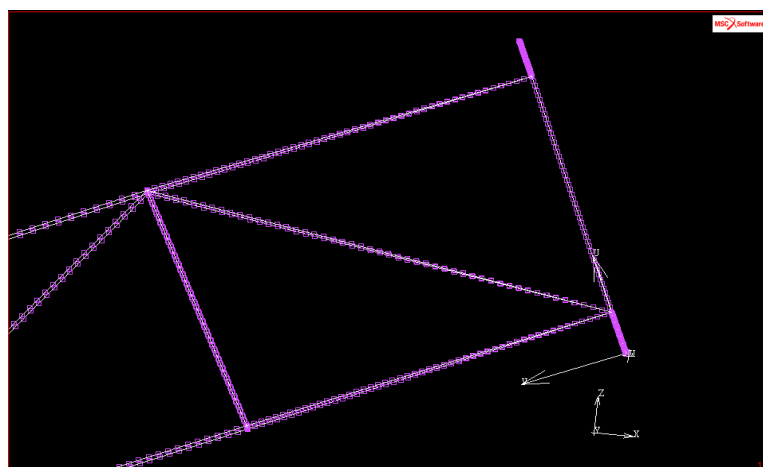


Figura 5.29

Los valores de rigidez:

	valores de rigidez	Modelo 4
Frenada	Kt (Nmm/°)	5597572
Torsión	Ktf (Nmm/°)	3848763.16
Flexión	Kf (N/mm)	2803.44487

En este caso también parece que es beneficiosa la modificación.

- Modelo 5

Partimos del modelo 1 y colocamos unas diagonales en el cuadrilátero que se encuentra tras la pipa.

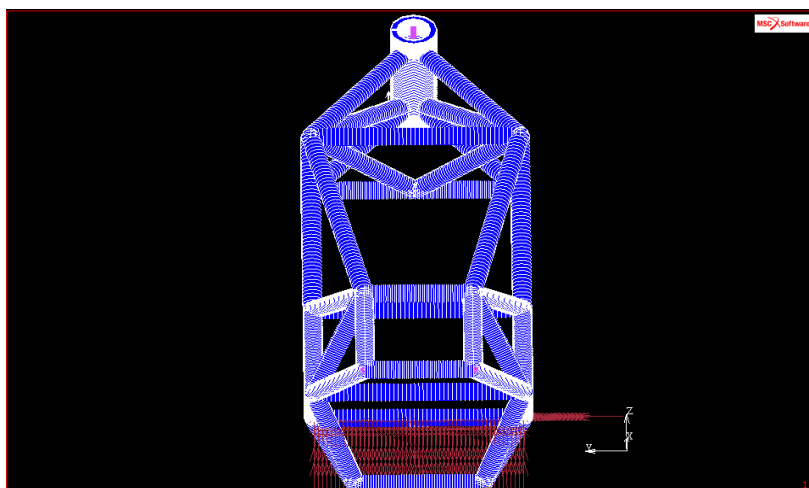


Figura 5.30

Los valores de rigidez son:

	valores de rigidez	Modelo 5
Frenada	Kt (Nmm/°)	4747608.42
Torsión	Ktf (Nmm/°)	4537060.45
Flexión	Kf (N/mm)	3418.34764

Los travesaños aportan rigidez al chasis.

- Modelo 6

Partiendo del primer modelo desplazamos los nodos del cuadrilátero que se encuentra tras la pipa 30 mm.

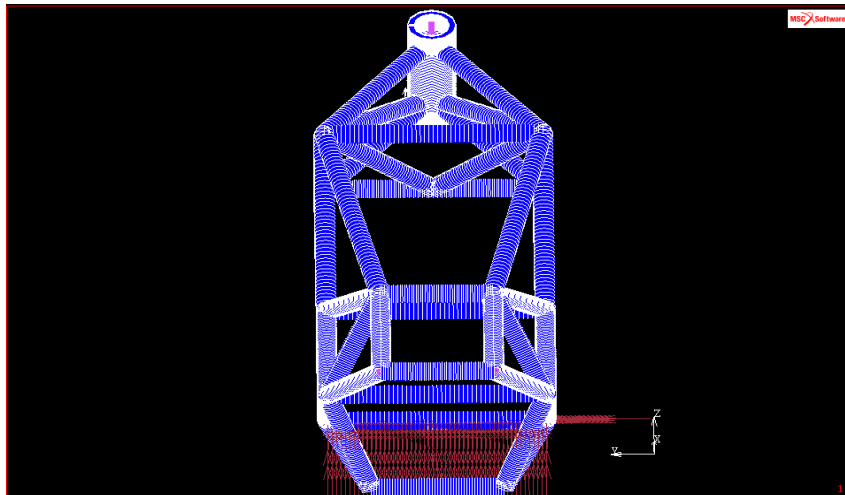


Figura 5.31

Los valores de rigidez son:

	Valores de rigidez	Modelo 6
Frenada	Kt (Nmm/°)	5760958.21
Torsión	Ktf (Nmm/°)	2932058.12
Flexión	Kf (N/mm)	2745.91751

Tras esta modificación vemos como aumenta la rigidez en el ensayo de frenada pero disminuye en el de torsión. También vemos que aumenta un poco la flexión.

- Modelo 7

Partimos del modelo 1, introducimos las diagonales en el cuadrilátero tras la pipa de dirección para ahora en sentido opuesto.

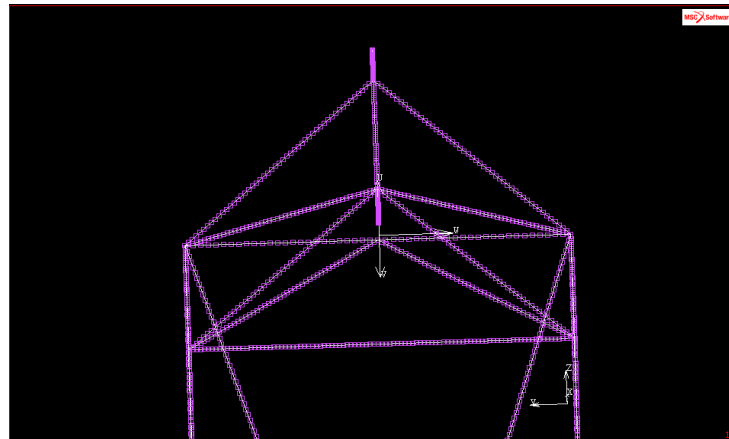


Figura 5.32

Los valores de rigidez son:

	Valores de rigidez	Modelo 7
Frenada	K_t (Nmm/°)	4747278.67
Torsión	K_{tf} (Nmm/°)	4504230.97
Flexión	K_f (N/mm)	3402.47156

Prácticamente no se observa diferencia respecto al modelo con las diagonales en el otro sentido así que se optará por la solución más sencilla de fabricar.

- Modelo 8

En este modelo realizamos la primera combinación de soluciones que nos aportan mayor rigidez. Las barras tienen una anchura de 280 mm, la distancia entre las barras que se unen con la pipa es de 120 mm y se colocan las diagonales en el cuadrilátero tras la pipa de dirección. Pero las barras superiores se encuentran curvadas.

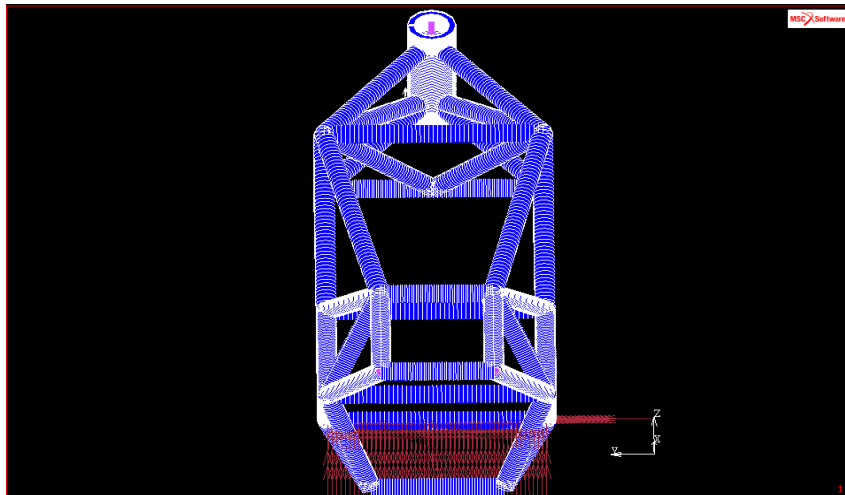


Figura 5.33

Los valores de rigidez son los siguientes:

	Valores de rigidez	Modelo 8
Frenada	K_t (Nmm/°)	3750216.72
Torsión	K_{tf} (Nmm/°)	5500965.06
Flexión	K_f (N/mm)	3138.35763

Se produce un descenso de la rigidez en el ensayo de frenada y un aumento en los otros 2.

- Modelo 9

El modelo mantiene la geometría del numero 8 pero en este caso las barras superiores no se encuentran curvadas.

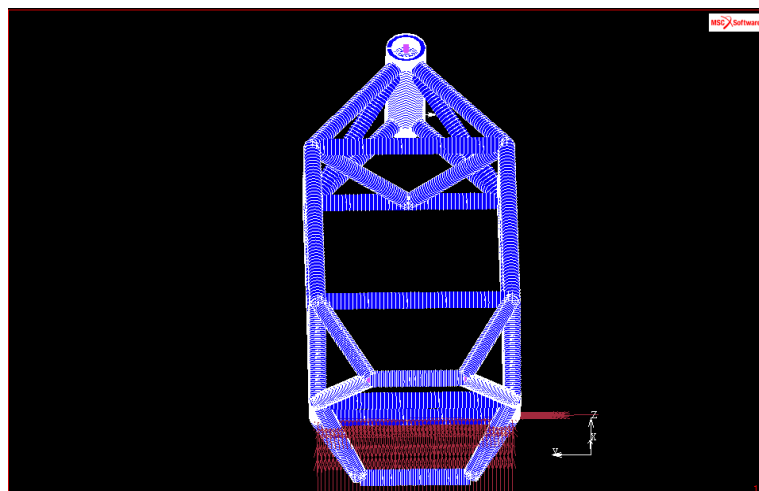


Figura 5.34

Los valores de rigidez son los siguientes:

	Valores de rigidez	Modelo 9
Frenada	Kt (Nmm/°)	5414170.2
Torsión	Ktf (Nmm/°)	5712430.06
Flexión	Kf (N/mm)	2322.21149

Mejoramos la rigidez en frenada y torsión aunque se produce una pequeña pérdida en flexión.

- Modelo 10

Se parte del modelo anterior y se modifican los nudos del cuadrilátero tras la pipa 20 mm hacia atrás.

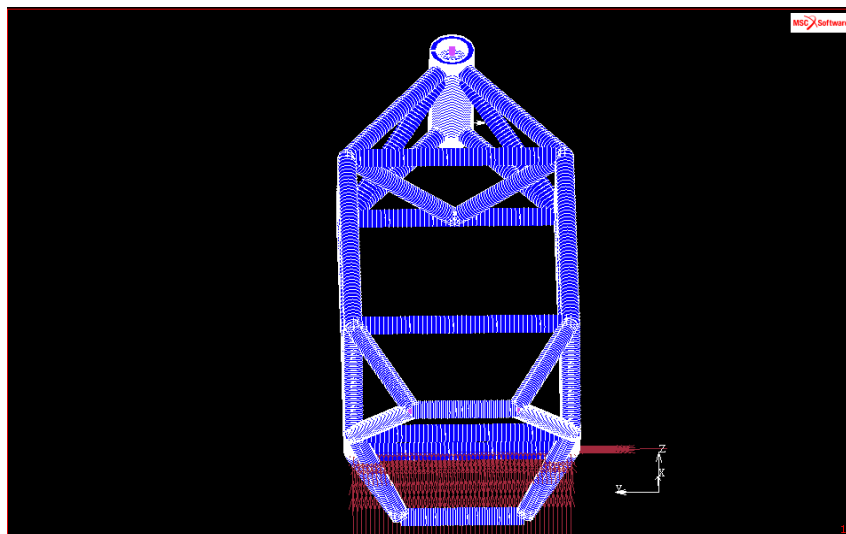


Figura 5.35

Los valores de rigidez son:

	Valores de rigidez	Modelo 10
Frenada	Kt (Nmm/°)	5269869.19
Torsión	Ktf (Nmm/°)	5875742.27
Flexión	Kf (N/mm)	2585.6697

Esta solución no mejora a la anterior sino que incluso la empeora.

- Modelo 11

Partiendo del modelo anterior se curvan las barras superiores.

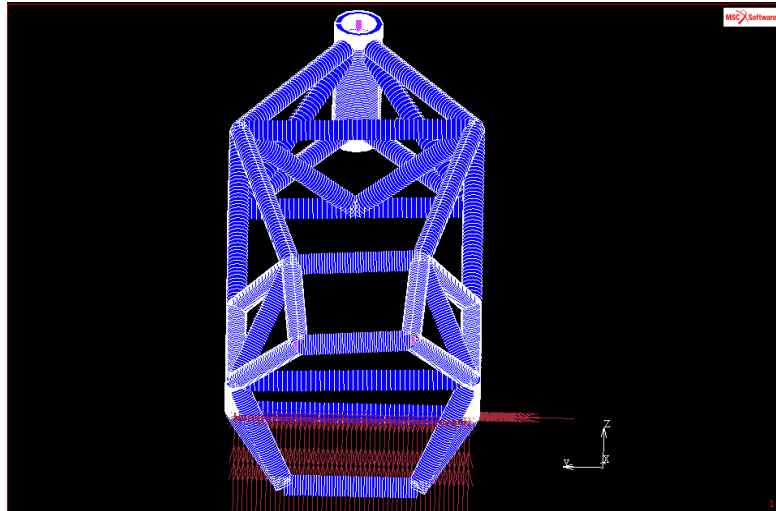


Figura 5.36

Los valores de rigidez son:

	Valores de rigidez	Modelo 11
Frenada	K_t (Nmm/°)	4684166.96
Torsión	K_{tf} (Nmm/°)	5677269.49
Flexión	K_f (N/mm)	3422.34862

La única mejora que introduce es el aumento en flexión ya que tanto en frenada como en torsión empeora los valores.

- Modelo 12

En este modelo las barras superiores no se encuentran curvadas y su anchura es de 280 mm. La distancia de las barras que unen la pipa es de 120 mm y se desplazan los nudos del cuadrilátero hacia atrás 20 mm.

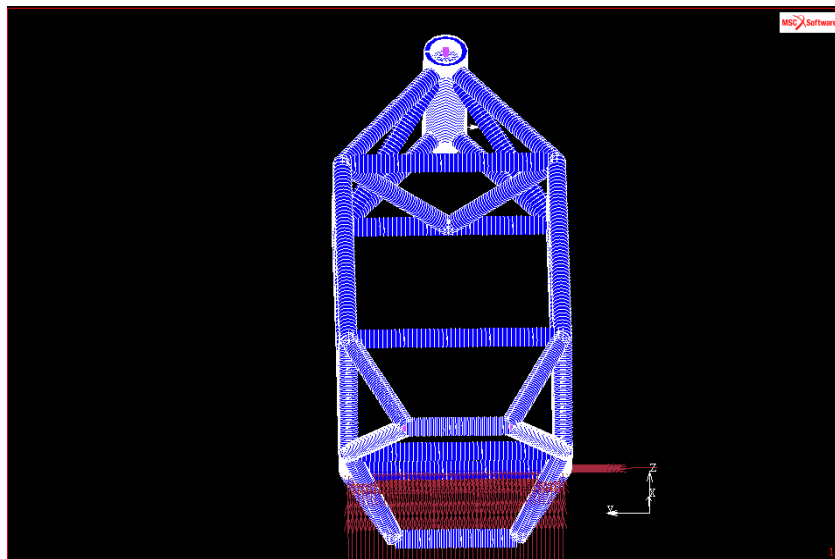


Figura 5.37

Los valores de rigidez son:

	Valores de rigidez	Modelo 12
Frenada	Kt (Nmm/°)	5269869.19
Torsión	Ktf (Nmm/°)	5875742.27
Flexión	Kf (N/mm)	2585.6697

Se produce una gran mejora en torsión la perdida en frenada es muy pequeña y la flexión prácticamente se mantiene.

- Modelo 13

Partiendo del modelo 1 se modifican las barras laterales.

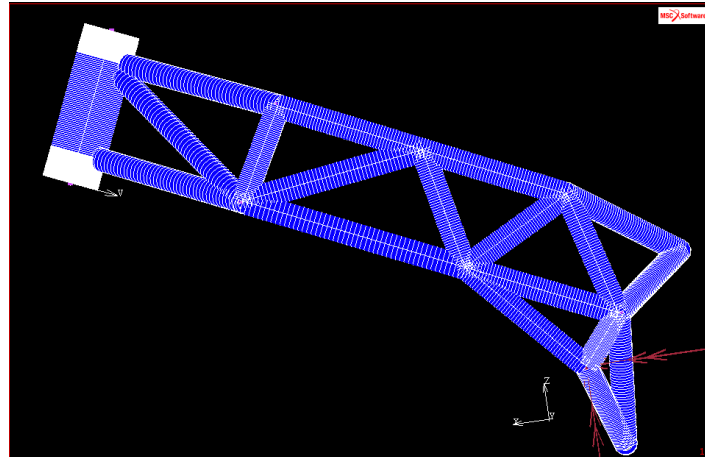


Figura 5.38

Los valores de rigidez:

	Valores de rigidez	Modelo 13
Frenada	Kt (Nmm/°)	4947528.97
Torsión	Ktf (Nmm/°)	4726616.01
Flexión	Kf (N/mm)	2198.42065

Conseguimos aumentar los valores de rigidez en todos los ensayos, pero para ello aumentamos el peso.

- Modelo 14

Se introducen las modificaciones geométricas que mejoraban la rigidez al modelo anterior.

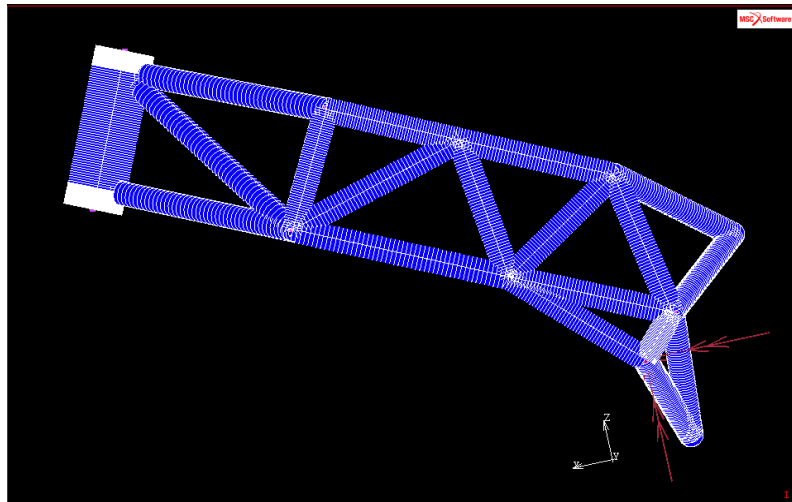


Figura 5.39

Los valores de rigidez son:

	Valores de rigidez	Modelo 14
Frenada	Kt (Nmm/º)	5494266.16
Torsión	Ktf (Nmm/º)	6647631.79
Flexión	Kf (N/mm)	2570.91219

Aumentamos la rigidez en los ensayos de frenada y torsión y disminuimos un poco en flexión.

- Elección

Una vez estudiadas las diferentes geometrías vamos a realizar la selección de la más adecuada para este modelo de chasis. Según los criterios de selección establecidos: Maximizar valores de rigidez para los test de rigidez longitudinal y a torsión, alcanzar un valor elevado para el test de rigidez a flexión.

Las modificaciones que aumentan la rigidez son:

- Las barras superiores sin curvar aumentan la rigidez para los ensayos de frenada y torsión pero empeoran en flexión.
- El aumento de la anchura del chasis produce un aumento de rigidez en todos los ensayos.

- El aumento de la distancia de las barras laterales que unen la pipa de dirección produce un aumento de la rigidez en todos los ensayos.
- Colocar unas diagonales en el cuadrilátero que se encuentra tras la pipa de dirección aumenta la rigidez en todos los ensayos.
- Desplazar los nodos del cuadrilátero de la pipa 30 mm hacia atrás mejora la rigidez en el ensayo de frenada y flexión pero empeora el de torsión.
- El introducir un mayor número de diagonales laterales aumenta la rigidez.

Vistas las modificaciones que aumentan la rigidez, los modelos que consiguen valores más altos para los dos primeros test son el 12 y 14. La elección de uno u otro se hará en función de la relación rigidez-peso. Podemos ver los resultados de manera más cómoda en el anexo 3

6	Valores de rigidez	Chasis1(sub)	Chasis2(sub)	Chasis3	Chasis4	Chasis5	Chasis6	Chasis7	Chasis8	Chasis9	Chasis10	Chasis11	Chasis12	Chasis13	Chasis14
7															
8	Kt (Nmm/°)	4353556.1	2665435.51	6085620.48	5597572	4747608.42	5760958.21	4747278.67	3750216.72	5414170.2	5291640.17	4684166.96	5269869.19	4947528.97	5494266.11
9	Ktf (Nmm/°)	3442905.47	3146090	3772557	3848763.16	4537060.45	2932058.12	4504230.97	5500965.06	5712430.06	5257112.78	5677269.49	5875742.27	4726616.01	6647631.75
10	Kf (N/mm)	2608.24204	2018.79498	2512.36082	2803.44487	3418.34764	2745.91751	3402.47156	3138.35763	2322.21149	2126.50131	3422.34862	2585.6697	2198.42065	2570.91215
11															
12	nada		-38.775671	128.316178	110.005906	9.05127466	32.3276438	9.04370039	-13.8585415	24.3620175	21.547536	7.59404157	21.0474626	13.6433953	26.2017995
13	sión		-8.62107521	19.9125581	2.02001348	31.779989	-14.8376816	30.826449	59.7768254	65.9188761	52.6940785	64.897629	70.6623177	37.2856749	93.0820301
14	ión		-22.5994003	24.4485371	11.5860766	31.0594488	5.27847753	30.4507599	20.3246318	-10.9664113	-18.4699396	31.2128463	-0.86542352	-15.7125521	-1.43122641

CHASIS 2

- Modelo 1

Partimos de un chasis totalmente nuevo y vamos a ir realizando un análisis similar al realizado al chasis anterior de forma que trataremos de alcanzar valores de rigidez más elevados.

La nueva configuración geométrica de las barras es la siguiente:

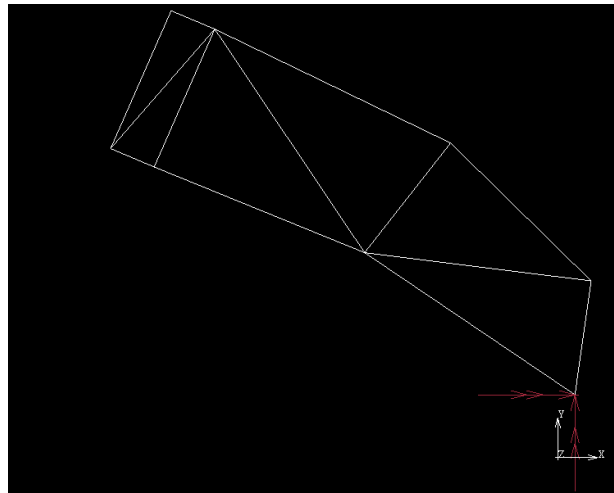


Figura 5.40-Vista lateral

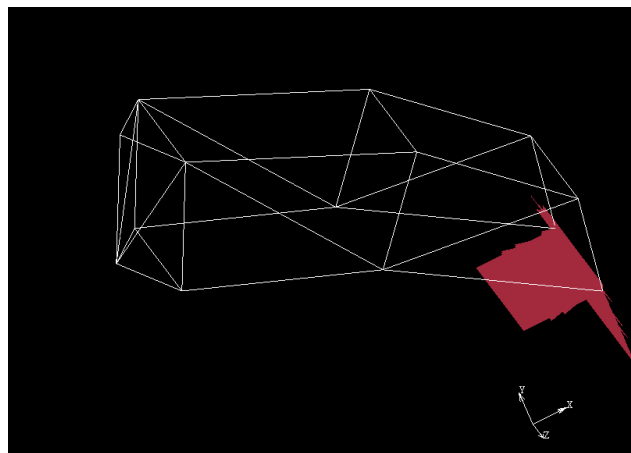


Figura 5.41-Vista isométrica

Los valores de rigidez que hemos obtenido para este chasis en los tres ensayos son los siguientes:

Valores de rigidez		Modelo 1
Frenada	Kt (Nmm/º)	3192809.749
Torsión	Ktf (Nmm/º)	1514883.381
Flexión	Kf (N/mm)	1246.94343

En un principio los valores son menores pero vamos a ir viendo como es su evolución.

- Modelo 2

Partiendo del primer modelo introducimos una diagonal de refuerzo en la parte inferior del chasis.

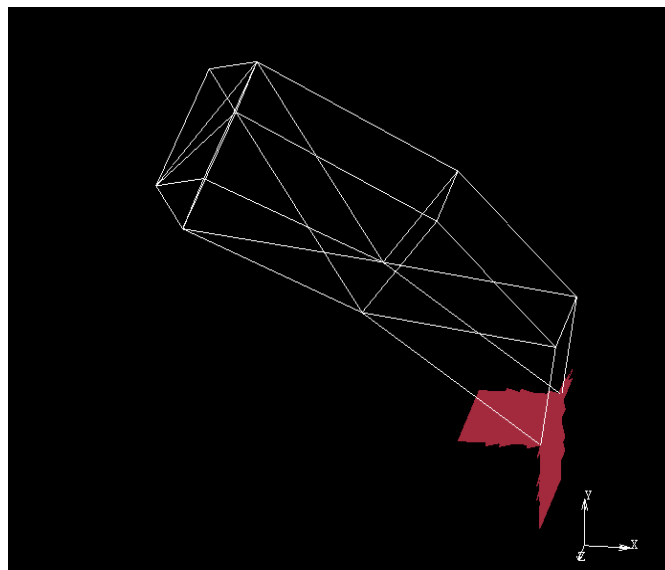


Figura 5.42-Vista isométrica

Los valores de rigidez son:

Valores de rigidez		Modelo 2
Frenada	Kt (Nmm/º)	3257962.079
Torsión	Ktf (Nmm/º)	2065327.069
Flexión	Kf (N/mm)	2769.18561

Se produce un aumento de la rigidez en todos los ensayos siendo el mas significativo el aumento en la rigidez a flexión.

- Modelo 3

En este caso introducimos una barra diagonal en la parte frontal del chasis. Esta solución podría tener problemas con la entrada del aire a través del airbox.

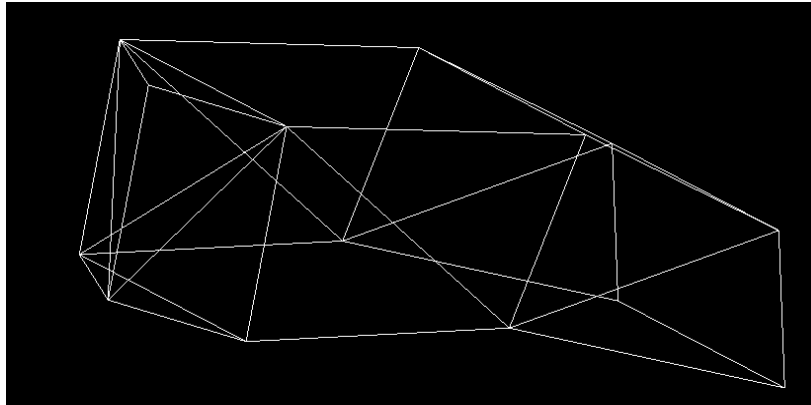


Figura 5.43-Vista isométrica

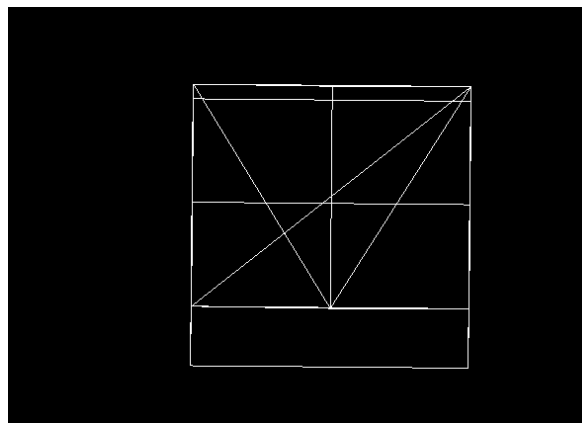


Figura 5.44-Vista frontal

Los valores de rigidez para este modelo son:

	Valores de rigidez	Modelo 3
Frenada	Kt (Nmm/º)	3256475.193
Torsión	Ktf (Nmm/º)	1863545.734
Flexión	Kf (N/mm)	1471.291426

La incorporación de esta barra produce mejoras en todos los ensayos pero su repercusión no es excesiva.

- Modelo 4

Partiendo del primer modelo introducimos una barra diagonal en la parte inferior del chasis pero en este caso en sentido contrario.

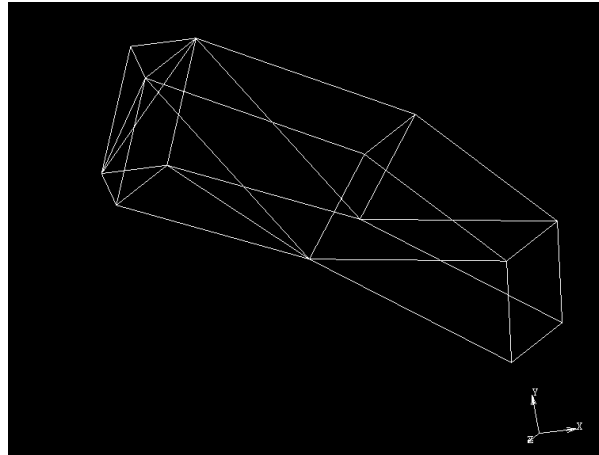


Figura 5.45-Vista isométrica

Los valores de rigidez son:

	Valores de rigidez	Modelo 4
Frenada	Kt (Nmm/°)	3257962.079
Torsión	Ktf (Nmm/°)	2058614.181
Flexión	Kf (N/mm)	2768.104789

Los valores obtenidos son los mismos que en el caso del modelo 2, esto significa que no influye el sentido de dicha diagonal.

- Modelo 5

Este modelo parte del primer modelo e incorpora la diagonal igual que lo hacia el modelo 3 pero en este caso en sentido opuesto.

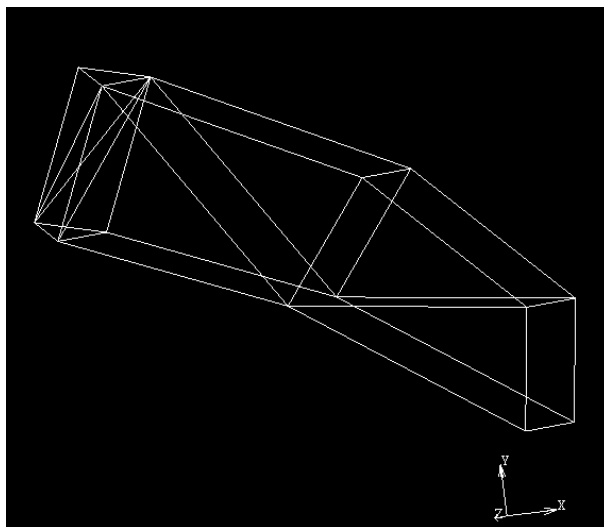


Figura 5.46-Vista isométrica

Los valores de rigidez son:

	Valores de rigidez	Modelo 5
Frenada	K_t (Nmm/°)	3256521.707
Torsión	K_{tf} (Nmm/°)	1863319.611
Flexión	K_f (N/mm)	1470.516872

No existen diferencias con el ensayo 3.

- Modelo 6

Modificamos la posición de las diagonales para que facilitar la fabricación.

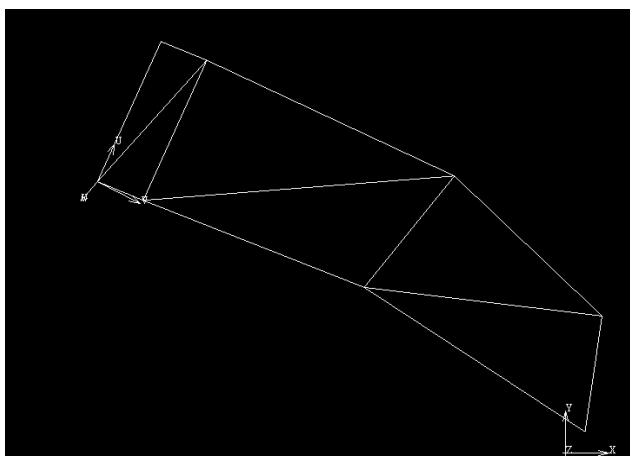


Figura 5.47-Vista lateral

Los valores de rigidez son:

	Valores de rigidez	Modelo 6
Frenada	Kt (Nmm/°)	3249046.277
Torsión	Ktf (Nmm/°)	1612463.407
Flexión	Kf (N/mm)	1484.622282

Los valores obtenidos son prácticamente iguales a los obtenidos en el primer modelo. La mayor facilidad de fabricación de este modelo hace que entre los dos este sea una mejor solución.

- Modelo 7

Partiendo del primer modelo se introduce un mayor número de barras diagonales laterales.

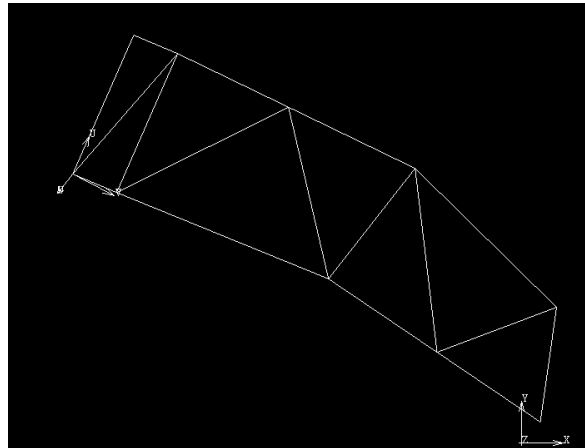


Figura 5.48-Vista lateral

Los valores de rigidez son:

	Valores de rigidez	Modelo 7
Frenada	Kt (Nmm/°)	4017400.947
Torsión	Ktf (Nmm/°)	1809771.984
Flexión	Kf (N/mm)	1468.480534

Mejora notablemente la rigidez a frenada y algo la torsión y la flexión

- Modelo 8

Se introducen todas las modificaciones de los modelos anteriores que producían un aumento de la rigidez. Se incrementa el número de diagonales laterales, se introduce una tras la pipa y una en la parte inferior.

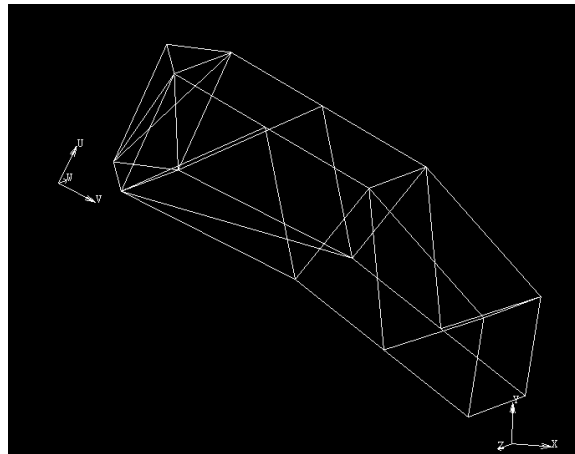


Figura 5.49-Vista isométrica

Los valores de rigidez son:

	Valores de rigidez	Modelo 8
Frenada	Kt (Nmm/°)	4024305.637
Torsión	Ktf (Nmm/°)	2432947.014
Flexión	Kf (N/mm)	2792.75782

Se consiguen los valores más altos de rigidez.

- **Elección**

Parece claro que el chasis que proporciona las mejores condiciones es aquel que incorpora un mayor número de diagonales. A pesar de obtener unos buenos valores de rigidez estos son inferiores a los alcanzados con el primer chasis. Además no parece que la evolución de esta solución pueda mejorar las condiciones del primer modelo.

Chasis_1(1)	Chasis_1(2)	Chasis_1(3)	Chasis_1(4)	Chasis_1(5)	Chasis_1(6)	Chasis_1(7)	Chasis_1(8)
3192809.75	3257962.08	3256475.19	3257962.08	3256521.71	3249046.28	4017400.95	4024305.64
1514883.38	2065327.07	1863545.73	2058614.18	1863319.61	1612463.41	1809771.98	2432947.01
1246.94343	2769.18561	1471.29143	2768.10479	1470.51687	1484.62228	1468.48053	2792.75782

CHASIS 3

- Modelo 1

Realizamos un nuevo modelo de chasis con las barras laterales inclinándose de forma que se va estrechando el chasis según se acerca al anclaje del basculante.

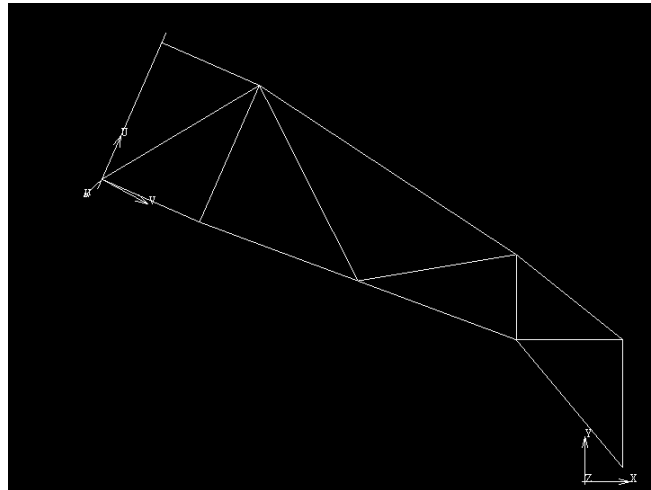


Figura 5.50-Vista lateral

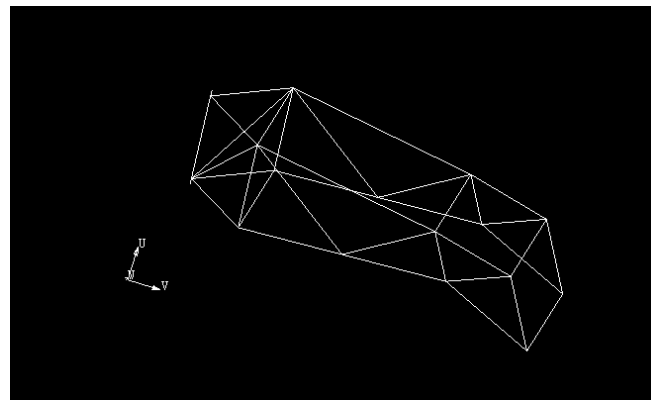


Figura 5.51-Vista isométrica

Los valores de rigidez son los siguientes:

	Valores de rigidez	Modelo 1
Frenada	K_t (Nmm/°)	3361028.498
Torsión	K_{tf} (Nmm/°)	1878718.836
Flexión	K_f (N/mm)	1771.896656

Los valores iniciales son algo mejores que los del chasis 2.

- Modelo 2

Partiendo del primer modelo hacemos que la anchura sea la mitad.

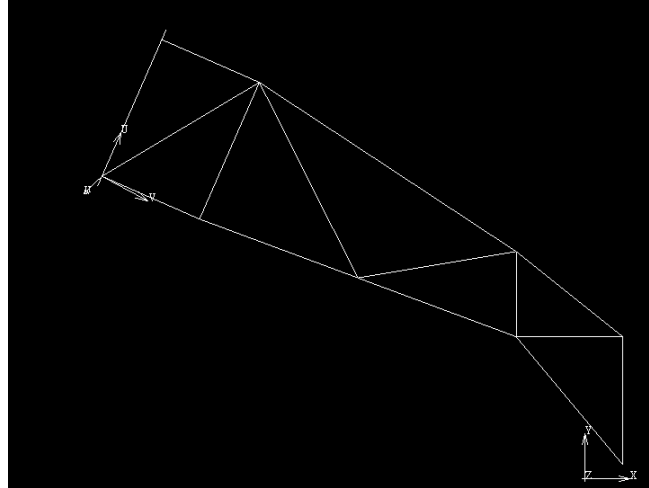


Figura 5.52-Vista lateral

Los valores de rigidez son:

	Valores de rigidez	Modelo 2
Frenada	Kt (Nmm/º)	3487500.044
Torsión	Ktf (Nmm/º)	1477719.535
Flexión	Kf (N/mm)	1603.324654

Mejora un poco en frenada pero empeora en los otros dos ensayos.

- Modelo 3

Partiendo del primer modelo pero en este caso con el doble de anchura.

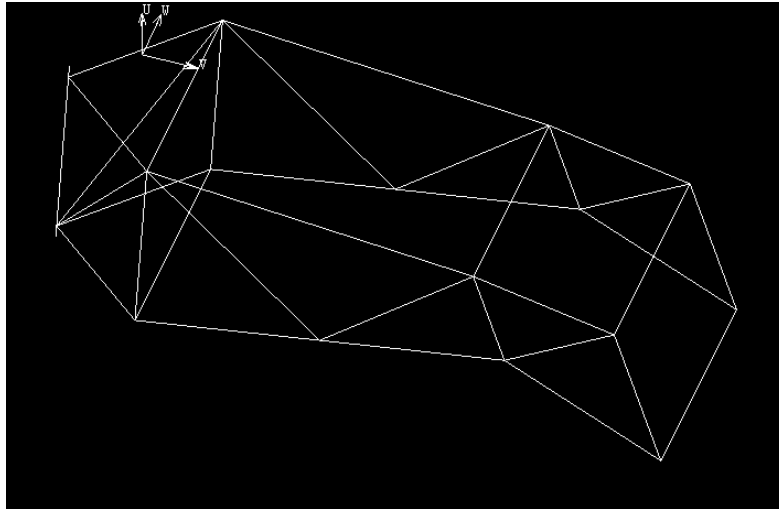


Figura 5.53-Vista isométrica

Los valores de rigidez son:

	Valores de rigidez	Modelo 3
Frenada	Kt (Nmm/º)	3110700.988
Torsión	Ktf (Nmm/º)	2192748.369
Flexión	Kf (N/mm)	1699.350848

En este caso la mejora se produce en torsión pero en los otros dos ensayos se empeora.

- Modelo 4

En este caso la parte trasera es más estrecha que la delantera.

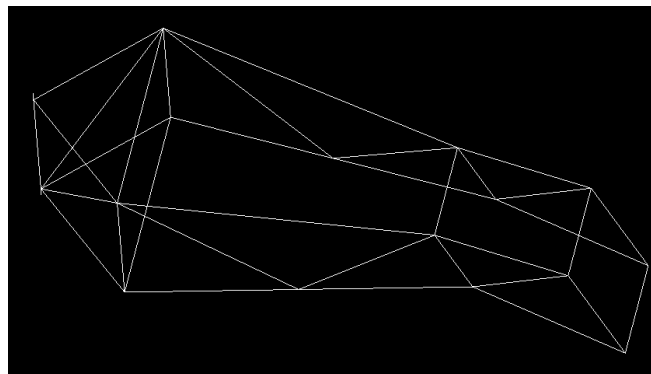


Figura 5.54-Vista isométrica

Los valores de rigidez son:

	Valores de rigidez	Modelo 4
Frenada	Kt (Nmm/º)	3297639.751
Torsión	Ktf (Nmm/º)	1323845.973
Flexión	Kf (N/mm)	1396.91338

Esta solución empeora en todos los ensayos.

- Modelo 5

Incorporamos una barra transversal en la parte trasera.

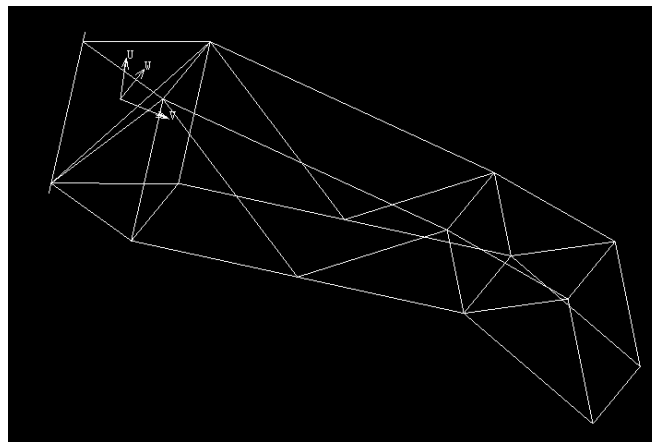


Figura 5.55-Vista isométrica

Los valores de rigidez son:

	Valores de rigidez	Modelo 5
Frenada	Kt (Nmm/º)	3361137.565
Torsión	Ktf (Nmm/º)	1946756.22
Flexión	Kf (N/mm)	2077.076141

Se producen mejoras en todos los ensayos sobre todo en la flexión lateral.

- Modelo 6

Partiendo del modelo anterior introducimos dos diagonales en el cuadrilátero que se encuentra tras la pipa de dirección.

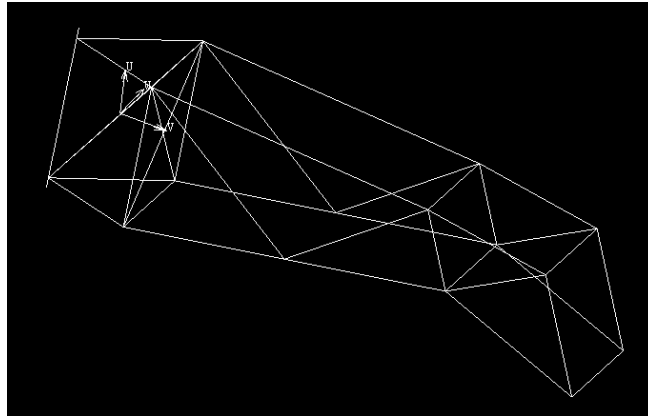


Figura 5.56-Vista isométrica

Los valores de rigidez son:

	Valores de rigidez	Modelo 6
Frenada	K_t (Nmm/°)	3363046.503
Torsión	K_{tf} (Nmm/°)	2747260.209
Flexión	K_f (N/mm)	2104.913078

Estas modificaciones mejoran la rigidez en todos los ensayos sobre todo en el de torsión.

- Modelo 7

Partiendo del modelo anterior se incorporan unas nuevas diagonales en el cuadrilátero que se encuentra junto a eje del basculante.

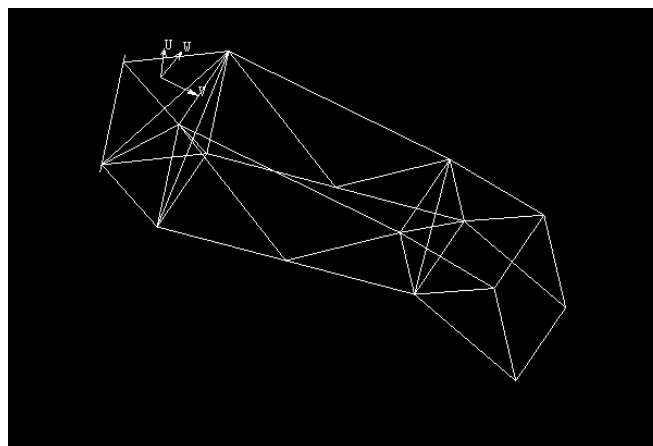


Figura 5.57-Vista isométrica

Los valores de rigidez son:

	Valores de rigidez	Modelo 7
Frenada	Kt (Nmm/º)	3363977.073
Torsión	Ktf (Nmm/º)	2857643.838
Flexión	Kf (N/mm)	2500.337546

Los dos primeros ensayos permanecen más o menos constantes y se aprecia una mejoría en la flexión.

- Modelo 8

Partiendo del modelo anterior se añade una barra vertical en los laterales.

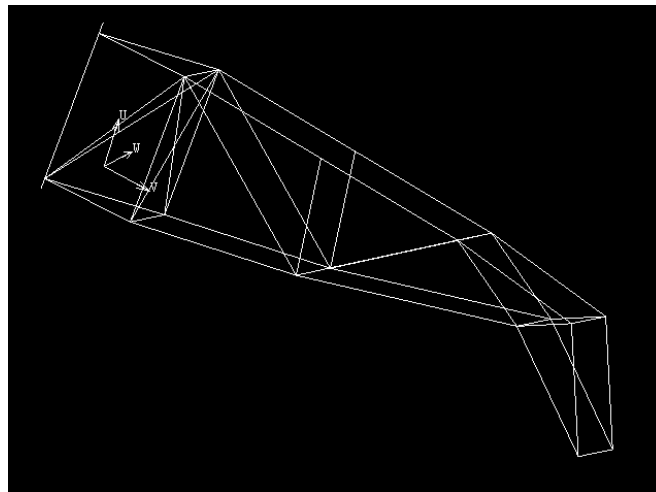


Figura 5.58-Vista isométrica

Los valores de rigidez son:

	Valores de rigidez	Modelo 8
Frenada	Kt (Nmm/º)	2545667.188
Torsión	Ktf (Nmm/º)	2701648.685
Flexión	Kf (N/mm)	1746.39849

Esta modificación empeora el resultado de los tres test.

- Elección

En vista de los resultados el mejor modelo es el número 7, aunque los valores de rigidez no superan los logrados por el primer chasis.

	Val. Rigidez	Chasis(1)	Chasis(2)	Chasis(3)	Chasis(4)	Chasis(5)	Chasis(6)	Chasis(7)	Chasis(8)
Frenada	Kt (Nmm/º)	3361028	3487500	3110701	3297640	3361138	3363047	3363977	2545667
Torsión	Ktf (Nmm/º)	1878719	1477720	2192748	1323846	1946756	2747260	2857644	2701649
Flexión	Kf (N/mm)	1771.897	1602.325	1699.351	1396.913	2077.076	2104.913	2500.338	1746.398

5.2.2.5 Conclusión

Una vez vistos los tres modelos de chasis y evolucionados hasta tratar de conseguir valores elevados de rigidez vamos a seleccionar aquel que dé mejores resultados. Vamos a comparar los modelos que nos dan mejores resultados de cada tipo de chasis.

	Val. Rigidez	Chasis 1	Chasis 2	Chasis 3
Frenada	Kt (Nmm/º)	5494266	4024306	3363047
Torsión	Ktf (Nmm/º)	6647631	2432947	2857644
Flexión	Kf (N/mm)	2571	2792	2500

Como nuestra intención es la de conseguir la máxima rigidez posible en los ensayos de frenada y torsión parece claro que el chasis que mejores valores toma es el numero 1. Por lo tanto será este el que tomaremos a partir de ahora como referencia para el diseño.

Podemos observar que los valores de rigidez en el ensayo de flexión son mucho menores que en los otros dos. Esto se debe a la presencia de dos cuadriláteros articulados los cuales no podemos diagonalizar por la presencia del motor. También cabe destacar que los análisis se han realizado sin el motor anclado por lo que los valores reales serán mayores.

5.2.3 Diseño de anclajes y uniones

En este apartado vamos a realizar un análisis más detallado de todos los anclajes y uniones presentes en el chasis como son la pipa de dirección, el anclaje del basculante, motor, amortiguador, jaula, etc.

Como comentamos en apartados anteriores este es el primer prototipo de motocicleta realizado y no tenemos datos de partida. Por lo tanto vamos a tratar de que algunos elementos que tienen importancia en el comportamiento dinámico sean variables como es el anclaje del basculante.

5.2.3.1 Pipa de dirección

La pipa de dirección es uno de los elementos estructurales del chasis que está sometido a mayores tensiones por lo que hay que prestar especial atención a su diseño. Por norma general su diseño suele ser el de un cilindro a través del cual pasa un eje que une las tijas. Este es un diseño convencional de una pipa de dirección.

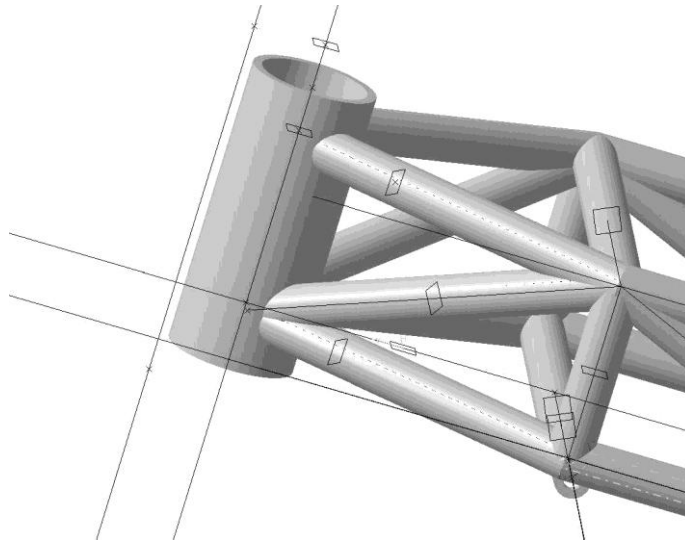


Figura 5.59-Pipa de dirección convencional

Existen diseños alternativos que tratan interferir lo menos posible en el paso del aire del airbox. La entrada del aire del airbox se encuentra en la parte frontal del carenado de las motocicletas ya que este es el punto de mayor presión. Esto hace que el camino que debe seguir el aire hasta llegar al carburador pase directamente por la posición de la pipa. Existen dos posibilidades, hacer una bifurcación para evitar la pipa de dirección, con la consiguiente pérdida de velocidad del aire o tratar de realizar un diseño de pipa que interfiera lo menos posible en la circulación del aire.

Se nos ocurrieron dos posibles soluciones:

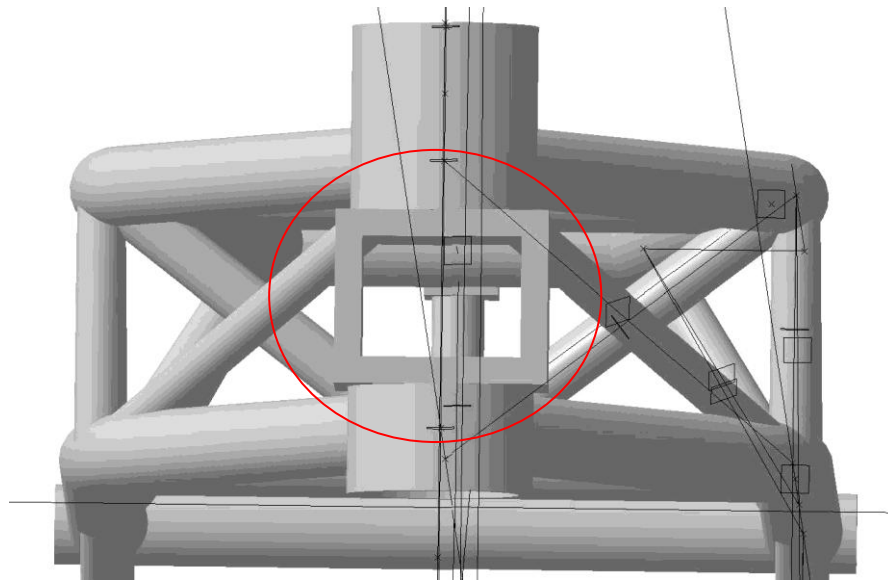


Figura 5.60-Solución 1

En este caso dividimos el cilindro de la pipa de dirección en dos partes separadas por un rectángulo por donde pasaría el aire del airbox.

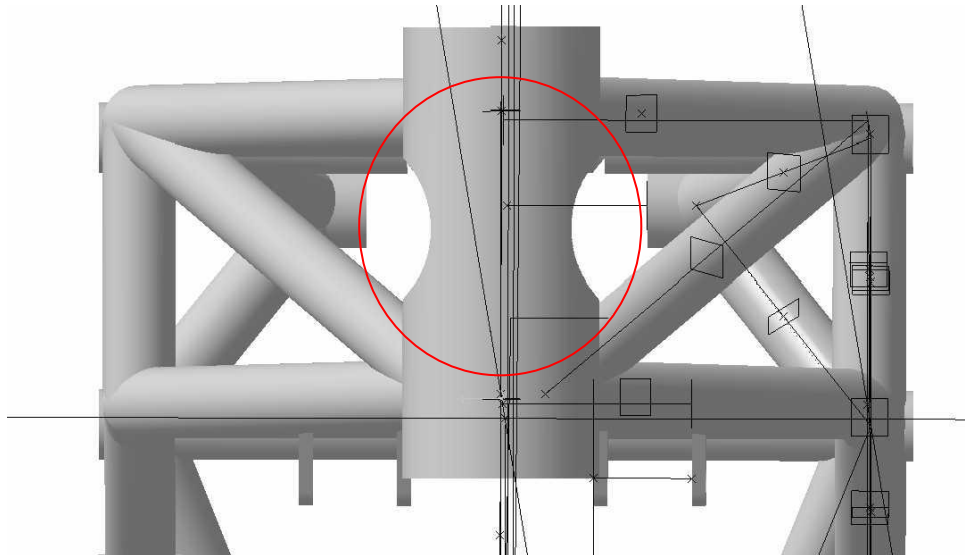


Figura 5.61-Solución 2

En este caso hacemos unos cortes a la pipa de dirección para que la interferencia sea menor.

Ambas soluciones serán estudiadas más adelante junto al estudio aerodinámico de la motocicleta. Habrá que valorar cual es la mejora conseguida al hacer estas modificaciones sobre la pipa, ya que ambas hacen que se pierda rigidez. Para el primer prototipo realizaremos un diseño convencional cilíndrico.

5.2.3.2 Anclaje del basculante

El eje del basculante es otro de los elementos críticos del chasis ya que además de soportar cargas elevadas provenientes de la rueda trasera influye en el comportamiento dinámico de la moto.

La posición de dicho eje se estudia de manera más exhaustiva en el proyecto “Diseño y calculo estructural del basculante y diseño del sistema de suspensión trasera de una motocicleta de competición”.

La importancia de la situación de dicho eje y la incertidumbre de su posición óptima nos hace plantearnos la posibilidad de diseñar un chasis que nos permita realizar modificaciones en su posición relativa, de manera que se puedan hacer ajustes amplios a la hora de hacer la puesta a punto.

Esta es una posible solución:

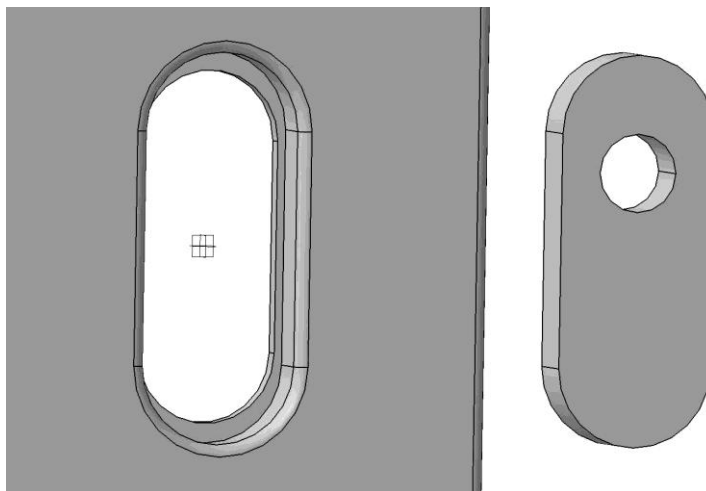


Figura 5.62

La idea es situar el eje del basculante no directamente al chasis sino a través de una pieza intermedia la cual puede variar su posición relativa respecto al chasis.

Otro aspecto a tener en cuenta es que el motor ha sido diseñado para que el eje del basculante pase a través de uno de sus anclajes. Por lo que una posible solución que nos permita rigidizar este anclaje es la descrita anteriormente. El problema de utilizar dicho anclaje, es que al realizar la modificación cambias la posición del motor dentro del chasis, teniendo que cambiar muchos elementos como por ejemplo el tubo de escape. Esto nos hace plantearnos no utilizar dicho anclaje como eje del basculante.

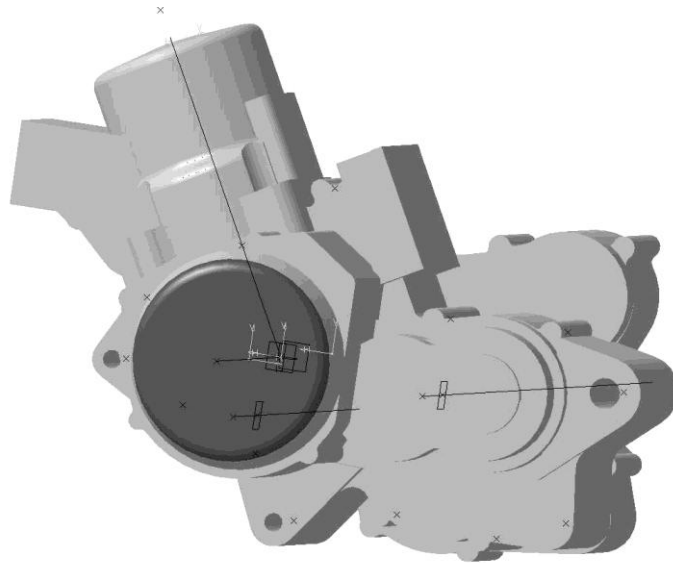


Figura 5.63-Motor Gas Gas 125 cc

La posición en la moto sería la siguiente:

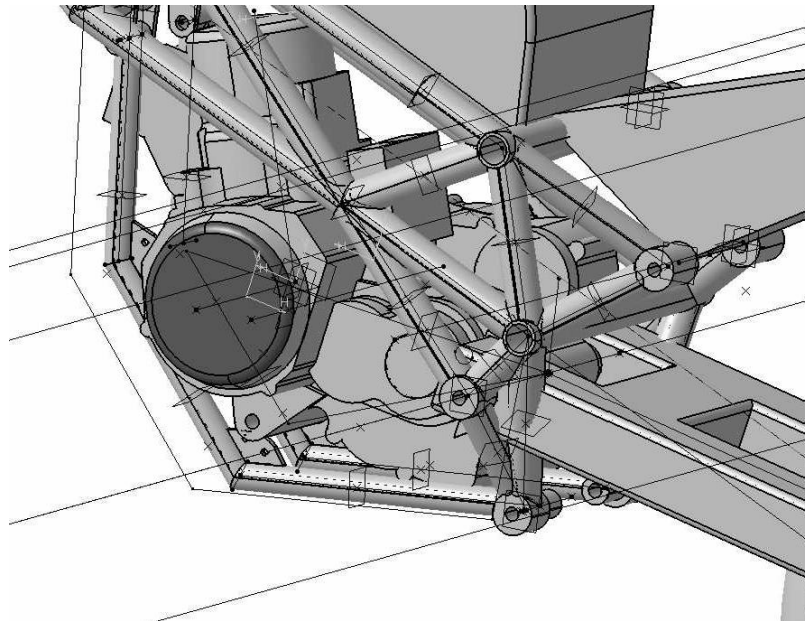


Figura 5.64-Posible posición del motor.

Como hemos comentado este anclaje va a sufrir grandes esfuerzos, por lo que la unión de este punto mediante barras puede ser crítico. Una forma de rigidizar esta zona es mediante una chapa metálica de acero mecanizada como las siguientes:

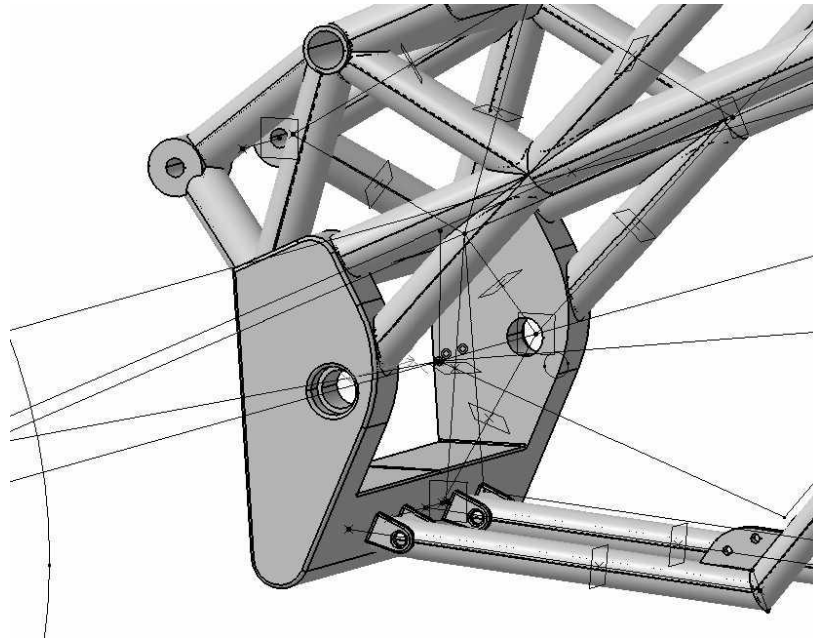


Figura 5.65

Este tipo de chapas serán las utilizadas en nuestro diseño debido a su aporte de mayor rigidez y su facilidad de fabricación.

5.2.3.3 La jaula

La jaula son simplemente dos barras de acero que envolviendo al motor nos permiten anclar este al chasis. Su facilidad de fabricación y de montaje son unas de sus características principales.

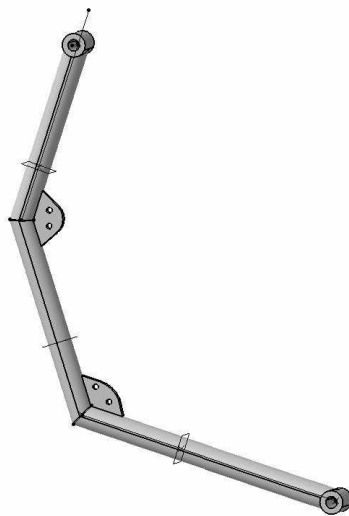


Figura 5.66-Jaula

El anclaje de dichas barras al chasis se realizará de la manera más sencilla posible para permitir su montaje y desmontaje. Estos anclajes deberán ser además lo suficientemente rígidos para soportar el peso y las cargas que se transmiten a través del motor. Una posible disposición de dichas barras en el chasis puede ser la siguiente:

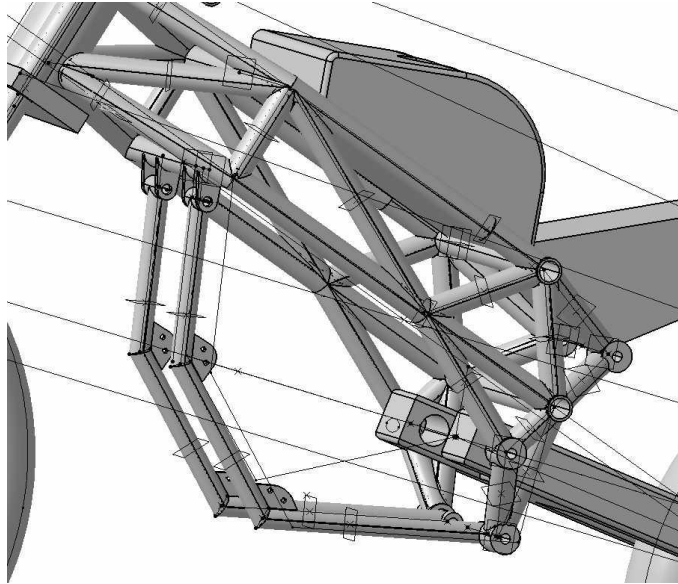


Figura 5.67-Disposición de la jaula en el chasis

La unión de las barras y el chasis se hará por medio de unas chapas de aluminio intermedias. Esto nos permitirá variar la disposición del motor dentro del chasis de manera sencilla en caso necesario.

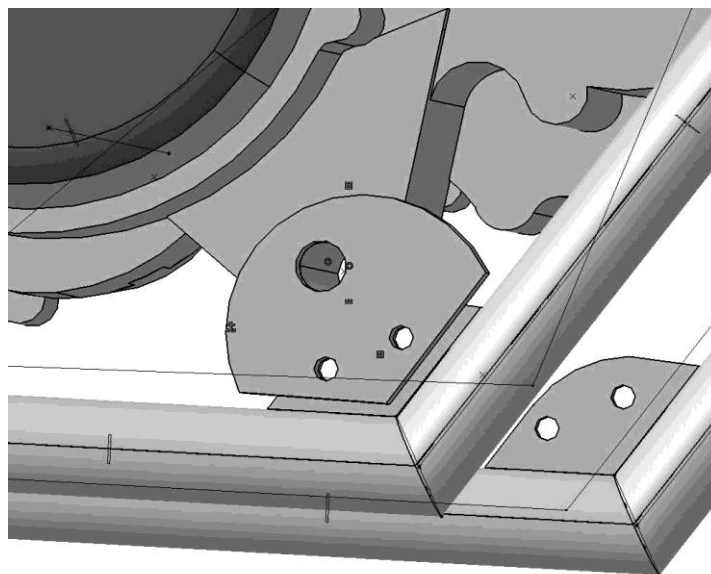


Figura 5.68-Chapa intermedia, unión chasis-jaula

5.2.3.4 Anclaje del tirante

Nos referimos al anclaje del tirante del sistema de bieletas del amortiguador trasero, cuya disposición dentro del chasis viene definida en el proyecto “Diseño y cálculo estructural del basculante y diseño del sistema de suspensión trasera de una motocicleta de competición”.

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

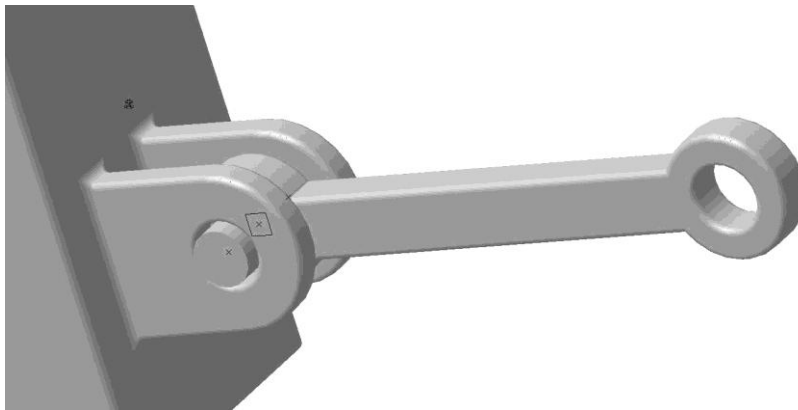


Figura 5.69-Anclaje para el tirante del sistema de bieletas

5.2.3.5 Anclaje del amortiguador

La posición y forma de dicho anclaje se estudia de manera más intensa en el proyecto “Diseño y cálculo estructural del basculante y diseño del sistema de suspensión trasera de una motocicleta de competición”.

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 esta. Esto nos hace buscar una solución que nos permita variar su la posición del anclaje de manera sencilla.

Esta es la posición del anclaje dentro del chasis:

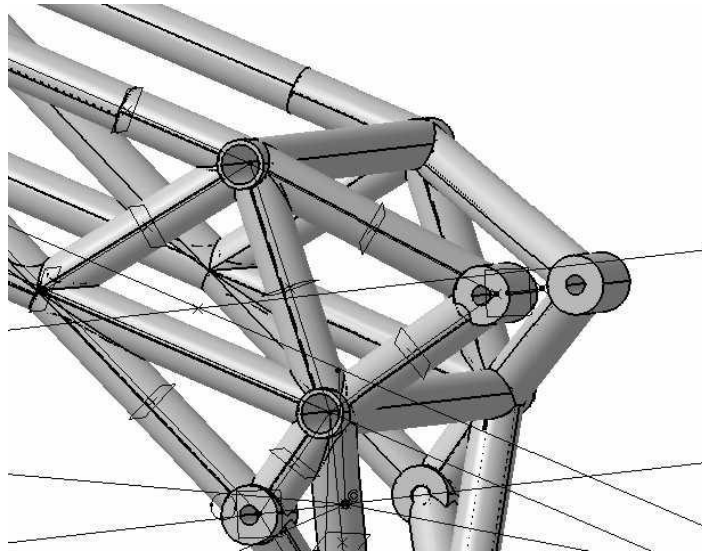


Figura 5.70-Anclaje del amortiguador trasero

Una de las posibles soluciones para realizar este anclaje variable es la siguiente. El tornillo de la parte superior permite cambiar la posición del anclaje, simplemente girándolo hacemos que el soporte intermedio suba o baje variando así la geometría de la suspensión trasera.

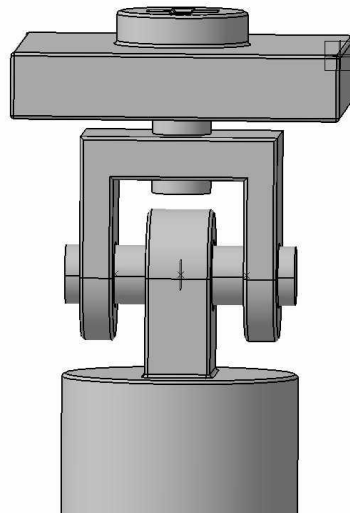


Figura 5.71-Anclaje del amortiguador trasero

5.2.3.6 Anclajes auxiliares

Nos referimos al anclaje del subchasis, estriberas, tubo de escape, depósito de gasolina y carenado. En cuanto al subchasis y estriberas, dos elementos que soportan algo de carga, se habilitaran dos anclajes sobre el chasis de la siguiente forma:

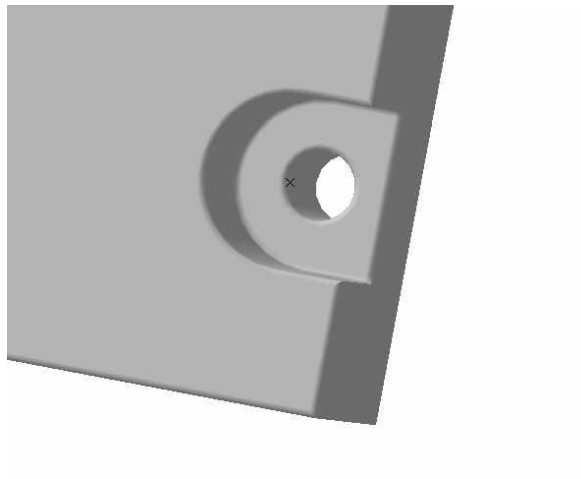


Figura 5.72-Anclaje para subchasis y sistema de pedales.

El depósito de gasolina y el carenado no se encuentran todavía diseñados pero al tratarse de elementos que no soportan elevadas cargas se les habilitarán mediante soldadura unos anclajes una vez el chasis se encuentre fabricado.

5.2.4 Ajuste de diseño

Antes de seguir con el diseño y tomar las primeras decisiones respecto a este hemos ido realizando diferentes reuniones con la empresa colaboradora IMCA que es la encargada de soldar el chasis. La función de estas reuniones es tratar de realizar un diseño que sea sencillo y no excesivamente caro de fabricar. Además sus consejos en cuanto a posibles soluciones nos permite seleccionar aquellas que mejor se adapten a nuestras necesidades. Estos son algunos de los puntos que hemos tratado:

- Revisar la estructura para que no presente cuadriláteros articulados que disminuyan la rigidez.
- Revisar aquellos nudos en los que intersectan muchas barras ya que pueden presentar problemas a la hora de soldar y cortar los tubos.
- Se plantea la posibilidad de doblar algunas barras para disminuir el número de soldaduras en los nudos.

- Plantean la posibilidad de utilizar bloques mecanizados para aquellas zonas que presentan muchos anclajes.
- Definir claramente que puntos del chasis deben mantenerse fijos y en cuales se permite cierta tolerancia.
- En caso de utilizar barras dobladas es necesario que sean de mayor espesor ya que al trabajarlas en frío puede verse afectada su soldadura interna.
- Revisar el espesor de las barras en las uniones.
- No preocuparnos en exceso del acero seleccionado, ya que su coste no será excesivo.
- La propia empresa se encarga de fabricarse el potro de montaje.
- Plantean la posibilidad de llevar las barras de los nudos hacia los laterales, cuidado con la pérdida de rigidez.
- Tratar de realizar el diseño en el menor número de planos.
- Estudiar el anclaje de la jaula, unión rígida o atornillada.

5.2.5 Selección de diámetro y espesores

5.2.5.1 Ensayos a realizar

Para una correcta elección del espesor y diámetro de los tubos, vamos a realizar dos ensayos mediante un programa de elementos finitos a cada chasis. Estos ensayos simulan las situaciones de máximo esfuerzo de manera independiente de forma que podremos analizar la deformación del chasis en cada caso.

Los test que vamos a realizar en este caso son los mismos que realizamos a la hora de seleccionar la geometría, rigidez longitudinal y torsional. Si bien en ese caso nos fijábamos únicamente en la rigidez ahora lo haremos en el ratio rigidez peso.

El modelo que utilizaremos en el programa de elementos finitos es un modelo más completo, incorporando a este las tijas y la horquilla. Con esto tratamos de introducir las cargas de la forma más realista posible para poder analizar las deformaciones del chasis en condiciones de uso. Trasladaremos las cargas obtenidas en el Xoptima desde el contacto del neumático con el suelo hasta el eje de la rueda delantera y fijaremos el eje del basculante. Como hacíamos en los test comparativos anteriores mediremos la rigidez del chasis estudiando la deformación de los nudos superior e inferior de la pipa.

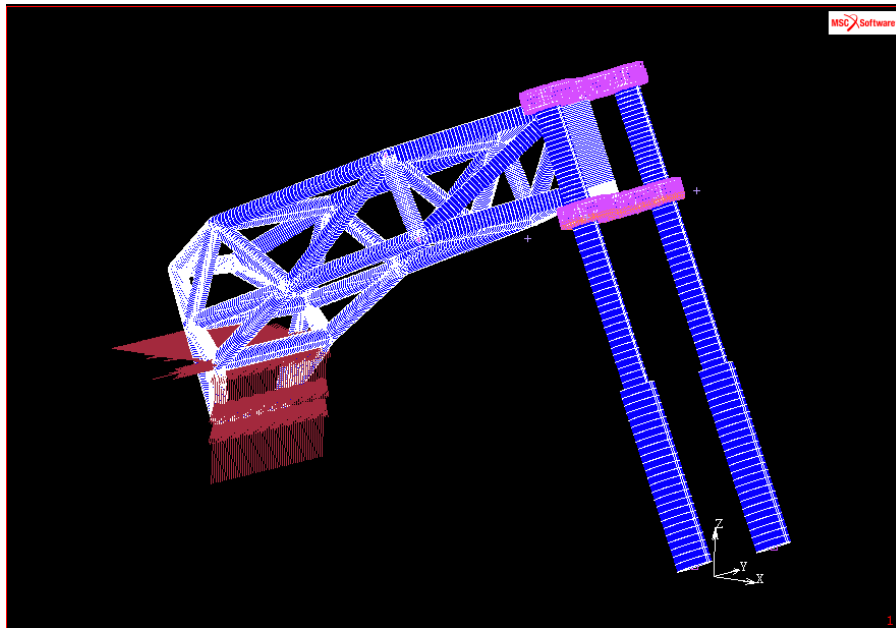


Figura 5.73-Modelo del chasis

Existen dos maneras básicas de conseguir una buena eficiencia estructural. Una consiste en utilizar barras de gran sección y longitud las cuales presentan una rigidez inherente. La segunda forma que es la que nosotros utilizaremos consiste en utilizar barras de pequeño diámetro creando una estructura triangulada.

Debido a la falta de datos de referencia en cuanto a que valores de rigidez son idóneos, vamos a medir el desplazamiento del eje de la rueda delantera en cada uno de los test. Ya que de esta forma podemos valorar de una forma más intuitiva como afectan las cargas a la geometría de la motocicleta.

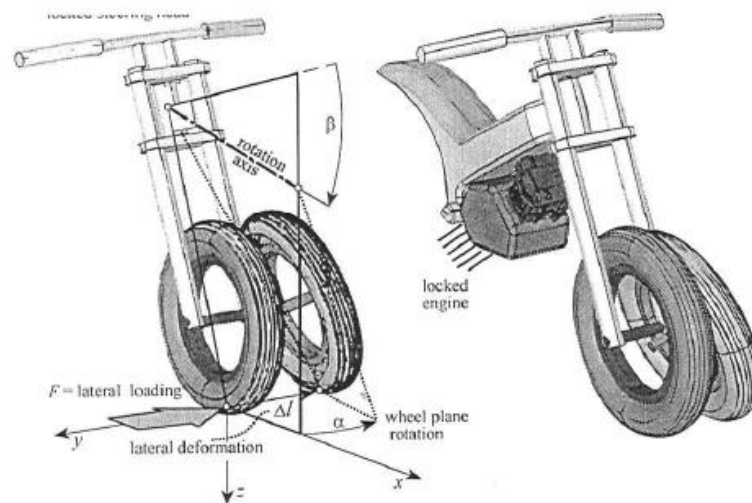


Figura 5.74-Desplazamiento lateral de la rueda delantera

Para ello hemos realizado unas plantillas en Excel donde introducimos los desplazamientos producidos debido a las cargas y obtenemos la variación de posición del eje delantero.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1													
2	Offset	32.15											
3	Long. Horquilla	500											
4	Rf	282.4											
5	Long. Pipa	160											
6													
7													
8		Posición Inicial		Posición Final									
9													
10	ángulo lanzamiento	α	0.41256754	α'	0.41023529								
11													
12	nodo inferior pipa	x1	1009.6939	x1'	1010.12269	$\Delta x1$	0.42879						
13		z1	678.3651	z1'	677.395711	$\Delta z1$	-0.969389						
14													
15	nodo superior pipa	x2	945.5364	x2'	946.307555	$\Delta x2$	0.771155						
16		z2	824.9481	z2'	824.1272	$\Delta z2$	-0.8209						
17													
18	Centro rueda delantera	x4	1239.62771	x4'	1239.01766	Δx	0.6100481						
19		z4	233.208875	z4'	231.704435								
20													
21	Avance	an	81.0818822	an'	80.4782111								
22	Batalla	p	1250	p'	1249.38995								
23	Ángulo lanzamiento	ϵ	0.41256754	ϵ'	0.41023529								

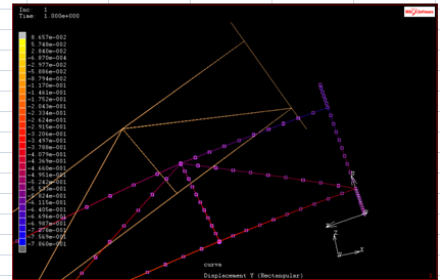


Figura 5.75-Ensayo de frenada

Para este primer caso de ensayo en frenada vemos como se produce una variación en la distancia entre ejes y en el avance los cuales valoraremos.

En el caso del ensayo de torsión obtendremos valores de Δy y Δz .

1													
2	Offset	32.15											
3	Long. Horquilla	458.882683	Comp. Z										
4	Rf	282.4											
5	Long. Pipa	160											
6													
7													
8		Posición Inicial		Posición Final									
9													
10	ángulo lanzamiento	α	0	α'	0.00337084								
11													
12	nodo inferior pipa	y1	0	y1'	4.14226	$\Delta y1$	4.14226						
13		z1	678.3651	z1'	678.3651	$\Delta z1$	3.5874E-09						
14													
15	nodo superior pipa	y2	0	y2'	3.64815	$\Delta y2$	3.64815						
16		z2	824.9481	z2'	824.9481	$\Delta z2$	3.1185E-09						
17													
18	Centro rueda delantera	y4	0	y4'	5.68907808	Δy	5.689078078						
19		z4	219.482417	z4'	219.485024	Δz	0.002607046						

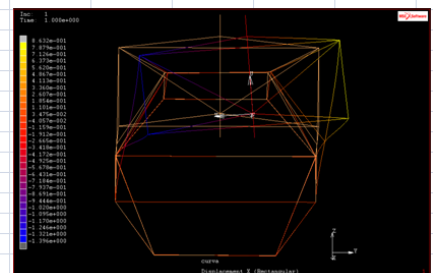


Figura 5.76-Ensayo de torsión

5.2.5.2 Cargas a aplicar

Hasta ahora las cargas que utilizábamos para realizar los diferentes test no eran cargas reales, simplemente eran aquellas que nos permitían realizar de forma optima los análisis. La justificación de la utilización de esas cargas es simple ya que lo único que nos interesaba era realizar ensayos comparativos entre las diferentes geometrías sin tener en cuenta el valor obtenido.

Esto ya no nos sirve ya que ahora tenemos que seleccionar los diámetros y espesores de las barras del chasis que nos aporten la rigidez necesaria. El criterio de selección que utilizaremos es el de rigidez-peso, esto nos 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 utilizamos un programa multibody que simula una vuelta en un circuito. Introdujimos el circuito de Alcañiz, que es donde va a ser la carrera y obtuvimos las cargas sobre los neumáticos durante una vuelta. Analizamos los resultados obtenidos y destacamos dos puntos críticos, la máxima frenada y la curva donde se produce la fuerza lateral máxima. La elección de estas situaciones se debe a que son los momentos en los que el chasis sufre mayores cargas.

Debido a la falta de datos de partida y a no tener las cargas reales que sufrirá el chasis vamos a aplicar 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. Vamos a estudiar los casos donde estas cargas son máximas para poder dimensionar el chasis. La frenada más limitante es la debida al vuelco inminente (carga vertical trasera nula). Vamos a considerar movimiento rectilíneo por lo que despreciaremos 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:

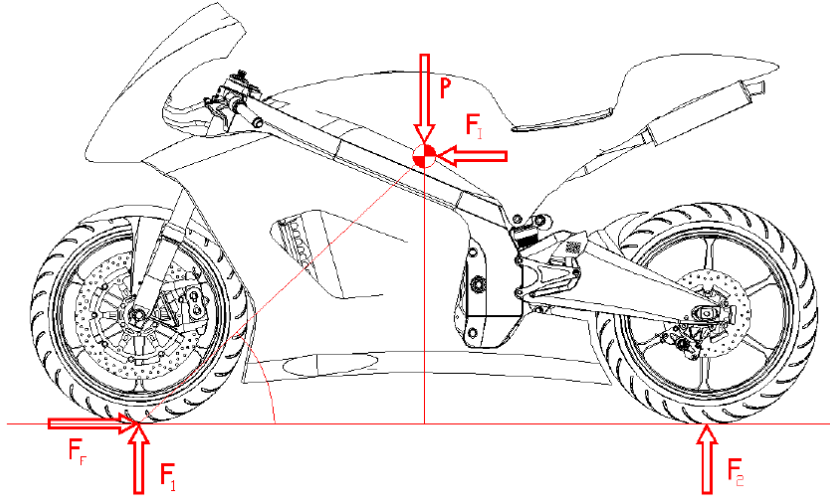


Figura 5.77-Fuerzas en frenada máxima

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

- **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:

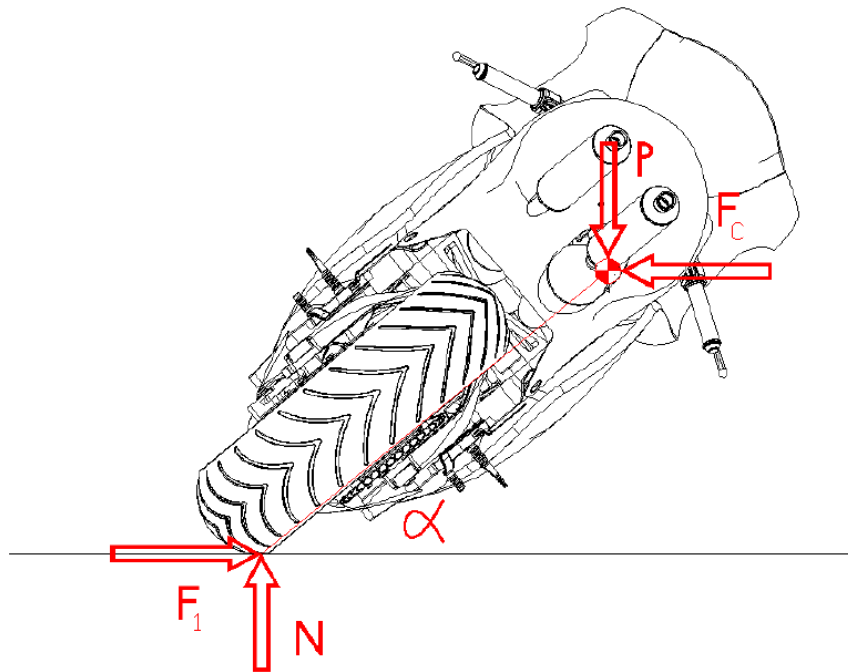


Figura 5.78-Fuerzas en el paso por curva

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

Realizaremos los dos ensayos descritos anteriormente con los valores de carga ahora expuestos. Las cargas las trasladaremos al eje de la rueda delantera y estas serán las que introduciremos en el modelo de Marc Mentat como cargas puntuales sobre las botellas de la horquilla.

5.2.5.3 Análisis de resultados

Vamos a realizar los test descritos anteriormente sobre el chasis que nos proporcionaba una mayor rigidez. Mantendremos la geometría constante e iremos

variando los diámetros de los tubos. El espesor permanecerá constante en todos los tubos y será de 2 mm.

Para facilitar la soldadura en aquellos nudos que tienen muchas barras seleccionaremos dos diámetros diferentes para cada configuración de chasis. Estos son los diferentes ensayos que realizaremos:

	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6
Diámetro 1 (mm)	30	28	26	24	22	20
Diámetro 2 (mm)	25	23	21	19	17	15
Espesor (mm)	2	2	2	2	2	2

Para cada modelo obtendremos el desplazamiento y rotación de la pipa así como el desplazamiento producido en el eje de la rueda delantera. Además obtendremos un valor aproximado de la masa total del chasis. Con estos valores de desplazamiento y masa podremos obtener un valor del ratio rigidez-peso que nos permitirá seleccionar aquel chasis que mejor se ajuste a nuestras necesidades de diseño.

Una vez realizados los 6 ensayos obtenemos los siguientes resultados:

	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6
Masa	12.67	11.92	11.18	10.43	9.69	8.94
Frenada máxima						
Traslación	0.48734997	0.51858524	0.55561092	0.60016616	0.65474288	0.72306133
Giro	-0.0110992	-0.0095830	-0.0079308	-0.0061504	-0.0042733	-0.0023855
Δx	-0.3044838	-0.3493457	-0.4011814	-0.4616554	-0.5330018	-0.6182165
Avance	81.0317538	81.0386002	81.0460591	81.054094	81.0625669	81.07108
Batalla	1249.69552	1249.65065	1249.59882	1249.53834	1249.467	1249.38178
Ángulo lanzamiento	0.41237378	0.41240024	0.41242907	0.41246013	0.41249288	0.41252579
Fuerza lateral max.						
Traslación	0.48469959	0.58935097	0.72871088	0.91883415	1.18595747	1.57520172
Giro	0.0828795	0.0964496	0.11357729	0.13539328	0.16382958	0.20177799
Δy	1.20753455	1.43108715	1.71973034	2.10066431	2.61659089	3.337505
Δz	0.02471373	0.02597398	0.02745728	0.02925403	0.03151309	0.03449235

Vamos a hacer un pequeño repaso al significado de cada resultado.

- **Masa:**

Se refiere a la masa del modelo de chasis en kilogramos introducido en el programa de elementos finitos. Este modelo no es el que se

fabricara pero nos da un valor de referencia aproximado del posible peso de las diferentes soluciones.

- **Frenada máxima:**

Al realizar este ensayo se produce un desplazamiento de la pipa de dirección respecto a su posición inicial. Dicho desplazamiento lo descomponemos en dos movimientos, un desplazamiento paralelo y un giro. Por lo tanto obtenemos dos valores en mm, la traslación y el giro que serán los que valoraremos más adelante.

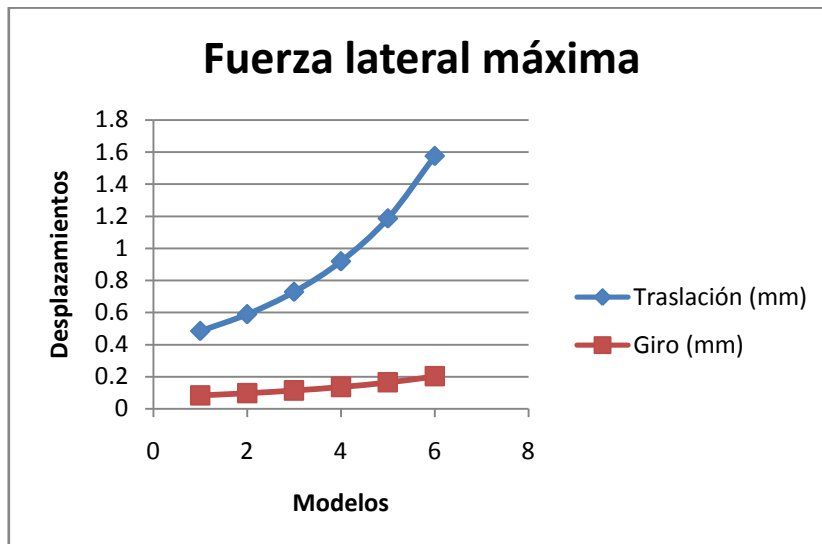
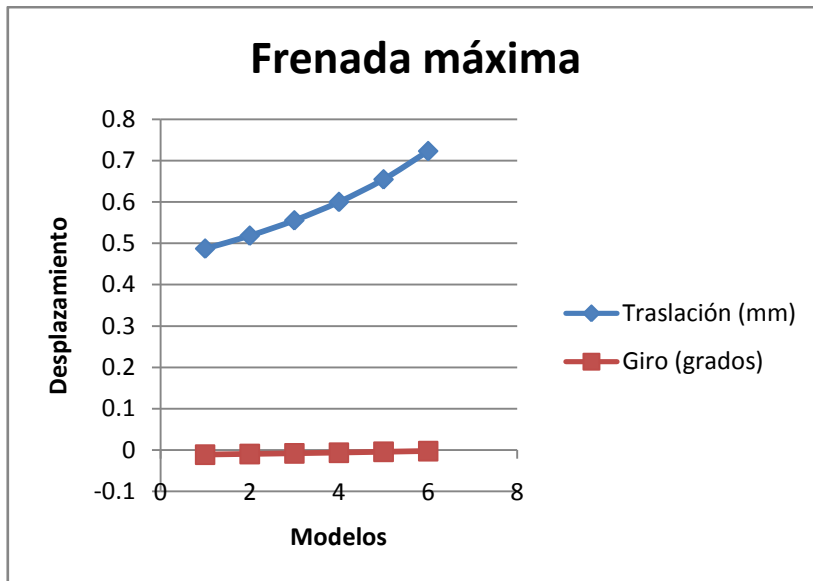
Este desplazamiento de la pipa de dirección produce una variación en el eje de la rueda el cual representamos como Δx (mm), traslación de dicho eje a través del eje longitudinal de la motocicleta. Esta traslación provoca modificaciones sobre la geometría inicial de la motocicleta en parámetros como el avance, distancia entre ejes y ángulo de lanzamiento.

- **Fuerza lateral máxima:**

Al igual que en el caso anterior descomponemos el desplazamiento en una traslación paralela (mm) y un giro ($^{\circ}$). Dicho desplazamiento provoca una variación del eje de la rueda delantera en “y” y “z”. Eje transversal y vertical de la motocicleta respectivamente.

Los valores que realmente representan la rigidez del chasis son los de traslación y giro en cada caso, los demás simplemente nos permiten ver de forma más intuitiva como afecta la deformación del chasis a los parámetros geométricos.

Vamos a ver cómo evolucionan los desplazamientos y giros en los diferentes modelos.



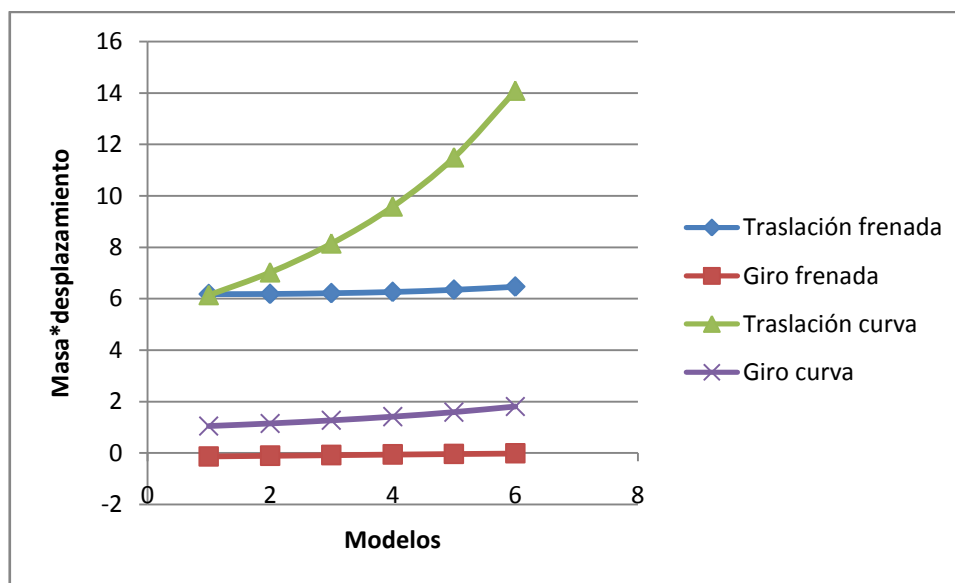
Vemos como la traslación y el giro va aumentando según disminuimos el diámetro de los tubos. Ambas traslaciones parten de valores de unos 0.5 mm pero en el ensayo de fuerza lateral máxima el aumento del desplazamiento es bastante mayor que en el de frenada. El giro en ambos casos aumenta al disminuir el diámetro pero sus valores son muy pequeños.

Como hemos comentado antes nos fijaremos en el ratio rigidez-peso para seleccionar la mejor solución. Como en este caso no sabemos cuál es el valor exacto de las cargas sobre el chasis no somos capaces de obtener la rigidez.

El ratio de rigidez-peso es: $\text{Fuerza}/(\text{desplazamiento} \cdot \text{peso})$

Por lo tanto cuanto mayor sea el producto entre el desplazamiento y el peso menor será el ratio de rigidez-peso. Estos son los valores del producto entre la masa y el desplazamiento.

	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6
Traslación frenada	6.17472406	6.18153603	6.21173006	6.25973303	6.34445852	6.4641683
Giro frenada	-0.1406270	-0.1142303	-0.0886671	-0.0641494	-0.0414091	-0.0213269
Traslación curva	6.14114379	7.02506353	8.14698766	9.58344021	11.4919279	14.0823034
Giro curva	1.05008329	1.14967921	1.26979406	1.41215186	1.58750862	1.80389519



Podemos observar como todos los productos excepto el de traslación en curva siguen una progresión prácticamente lineal y con una pendiente relativamente baja. Por lo tanto vemos como el parámetro que más afectado se ve por la variación de los diámetros de los tubos es la traslación en curva. Este parámetro se ve directamente relacionado con la flexión lateral del chasis, cuyo parámetro de rigidez veíamos como era inferior a los otros dos. Como explicábamos antes esta deformación no es mala ya que nos permitirá absorber parte de la energía generada en curva pero si debe ser controlada. A la vista de los resultados los ratios de rigidez/peso más elevados se consiguen con los diámetros mayores por lo tanto estos serán los utilizados en nuestro modelo.

6 Análisis detallado en elementos finitos

6.1 Cargas estáticas

En este apartado estudiaremos las tensiones que sufrirán las diferentes partes del chasis en diferentes situaciones. Todas las cargas que aplicaremos serán cargas estáticas mayoradas por un coeficiente de 1,5. Esto nos permitirá observar aquellas zonas que soportaran las mayores tensiones de forma que seremos capaces de realizar pequeñas modificaciones sobre el diseño para tratar de evitar la aparición de tensiones excesivamente elevadas.

6.1.1 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

Vamos a realizar dos análisis en diferentes programas de elementos finitos. Por un lado utilizaremos el modulo de FEM de CATIA y por el otro trasladaremos el modelo de chasis a MARC MENTAT y realizaremos los cálculos. La utilización de estos dos softwares es simplemente para obtener diferentes valores que nos permitan comparar los resultados.

El modelo que utilizaremos en CATIA es simplemente un modelo del chasis mallado mediante tetraedros. Fijaremos el eje del basculante y aplicaremos las cargas en un punto ficticio que simulará el contacto del neumático con la carretera. Este punto ficticio lo uniremos al chasis de manera rígida de forma que será el chasis el que soporte todas las cargas de esta forma aplicaremos una hipótesis conservadora.

Los resultados obtenidos deberán ser filtrados debido a que el modelo no simula de manera totalmente realista las cargas sufridas por el chasis. Sabiendo que estos valores

no son exactos si nos permitirán hacernos una idea bastante aproximada de las tensiones a las que estará sometido el chasis.

Tendremos que tener en cuenta los siguientes aspectos, en realidad el chasis no se encuentra empotrado en el eje del basculante como lo suponemos y además estamos suponiendo que la horquilla es extremadamente rígida. Esto hace que las tensiones sufridas por el chasis sean mayores pero por otro lado tendremos que tener en cuenta que las cargas aplicadas son estáticas y que realmente estará sometido a cargas dinámicas mayores.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

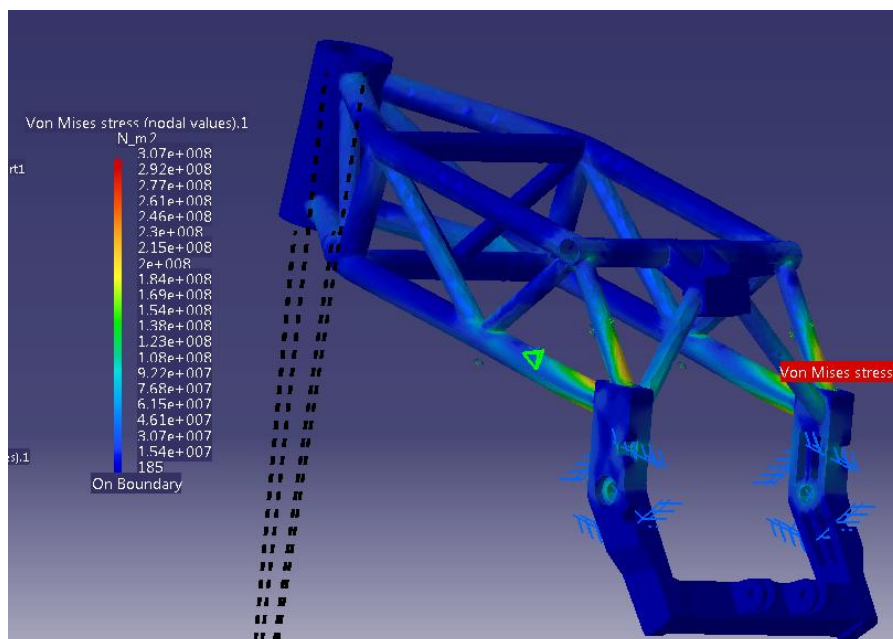


Figura 6.1-Ensayo en frenada

Las tensiones obtenidas llegan hasta el límite de 307 MPa lo cual es un valor elevado de tensión para un acero convencional. Estas tensiones nos aparecen en la zona donde las barras del chasis se unen con la pieza solida del anclaje del basculante. Parece que esta zona será la sometida a mayores tensiones y será donde habrá que prestar mayor atención. La presencia del motor y la jaula que lo soporta hará que los valores de tensión se vean rebajados en dicho punto.

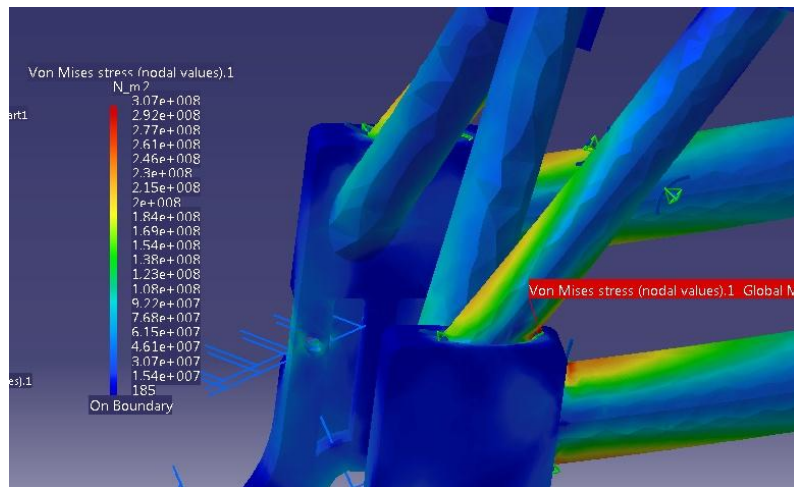


Figura 6.2-Imagen de detalle de las tensiones en las uniones.

Como se puede observar en la imagen las demás barras que forman el chasis estarán soportando tensiones bastante inferiores que rondaran los 50 MPa.

El modulo de CATIA de FEM nos proporciona un valor del error global estimado, este debe rondar el 10 % para poder considerar un valor realista de los resultados obtenidos. En nuestro caso este valor es del 12% lo cual nos da una aproximación de por donde se puede encontrar el valor real de tensiones.

Ahora vamos a realizar el mismo análisis pero en MARC MENTAT. Anclaremos el eje del basculante y aplicaremos las cargas sobre la pipa de dirección. Estas cargas las obtenemos al trasladar las reacciones en los neumáticos a la pipa de dirección.

Los valores de las tensiones son las siguientes.

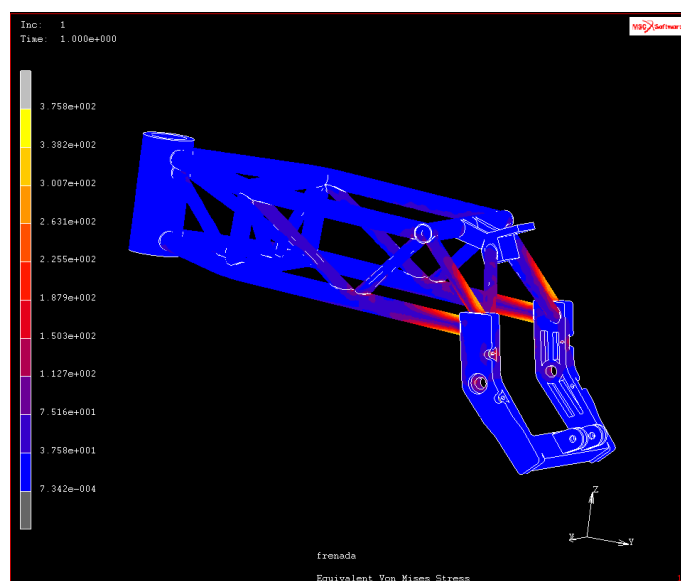


Figura 6.3-Tensiones sobre el chasis

Las tensiones máximas se dan cerca de los nudos de las barras que están soldadas al bloque de acero. Estas partes son las que más sufren alcanzando valores de tensión (von mises) de hasta 330MPa.

En el siguiente dibujo solo aparecen coloreadas las partes que están a más de 100MPa.

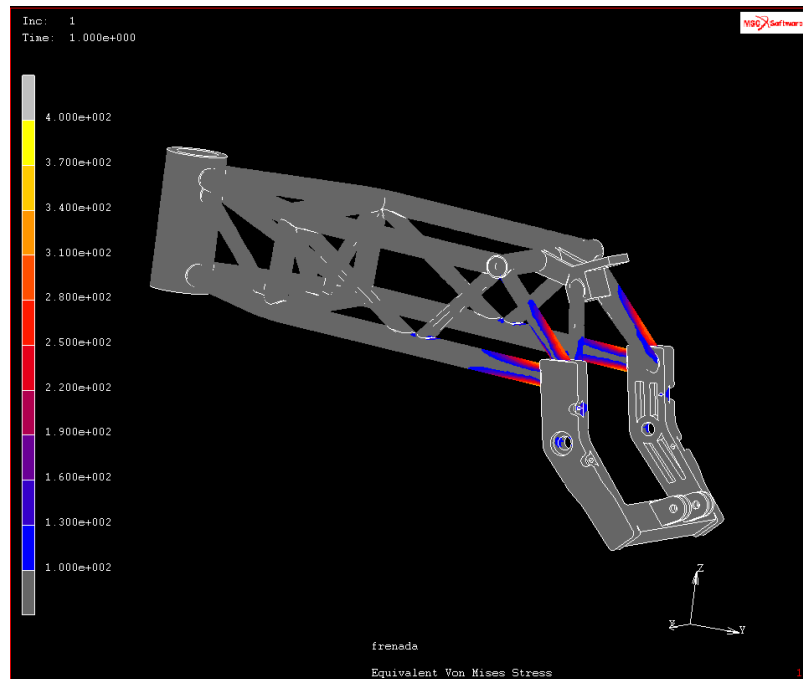


Figura 6.4-Tensiones superiores a 100 MPa

En este gráfico podemos ver cuáles son las zonas más conflictivas y como las demás zonas no alcanzan tensiones de riesgo.

Cabe destacar que para este primer ensayo la diferencia entre ambos softwares no es excesiva dando tensiones algo superiores en el ensayo realizado en MARC. A pesar de sus diferencias vemos como las zonas de riesgo son comunes en ambos análisis.

Como conclusión de este análisis podemos decir que habrá que prestar especial atención a las barras que unen la parte estructural triangulada con el elemento solido donde se ancla el eje del basculante. Las tensiones que aparecerán en dichos puntos rondarán el límite elástico de un acero convencional de construcción así que la elección de este tipo de aceros no parece correcta. Es cierto que la presencia del motor y sus tirantes disminuirán esos 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.

6.1.2 Combinación de frenada y curva

Como comentamos en el apartado anterior otro de los momentos en los que se producen tensiones elevadas en la motocicleta es el caso en el que se produce una 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

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° . Por lo tanto habrá que trasladar estas fuerzas al sistema de referencia que acompaña a la motocicleta. Al realizar la rotación del sistema vemos como la componente lateral se ve disminuida debido a la fuerza normal, pasando a tener un valor de 592 N frente 2644N. Por el contrario la fuerza normal aumentará pasando de 2654 N a 3255 N.

Vamos a estudiar al igual que en el caso anterior cuales serian las tensiones mediante los módulos de FEM de CATIA y MARC.

Al igual que en el modelo anterior en CATIA volveremos a situar un punto virtual sobre nuestro modelo que será el contacto de la rueda con la carretera y aplicaremos las cargas. Volveremos a suponer una horquilla extremadamente rígida que provocará que sea el chasis el que soporta todas las cargas.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

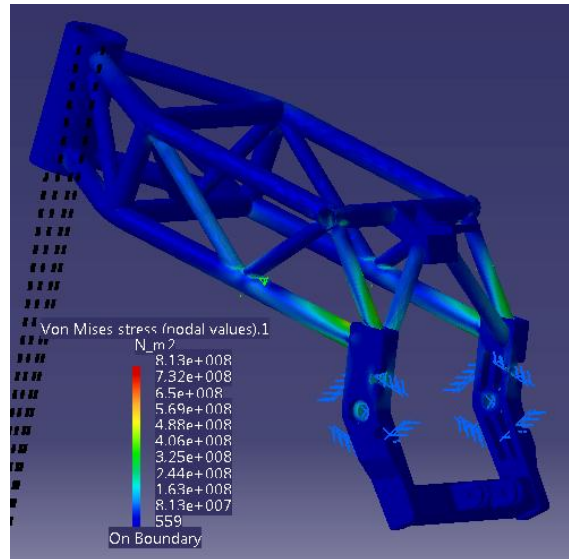


Figura 6.5-Tensiones sobre el chasis.

Como en el caso anterior las tensiones máximas se producen en la unión de las barras con la pieza sólida donde se ancla el basculante. Las tensiones en esas barras cerca de la unión llegan a alcanzar valores de 400 MPa, y en la unión nos aparece una tensión puntual de unos 700 MPa. La presencia de la horquilla y el motor harán que estas tensiones se vean disminuidas aun así son su valor es elevado.

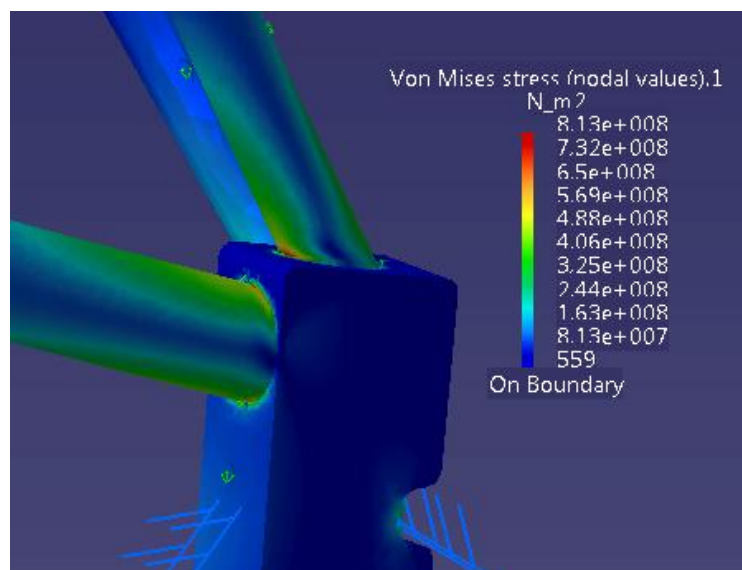


Figura 6.6-Vista de detalle de la unión.

Como podemos observar, en la unión se producen tensiones muy altas que deberán ser controladas a la hora de realizar las soldaduras.

Al igual que el caso anterior las demás barras estarán sometidas a tensiones cercanas a los 100 MPa. Valores que un acero de alto límite elástico no tendrá ningún problema en soportar.

Para este caso se ha conseguido obtener un error global estimado de un 9 %.

Ahora vamos a realizar 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.

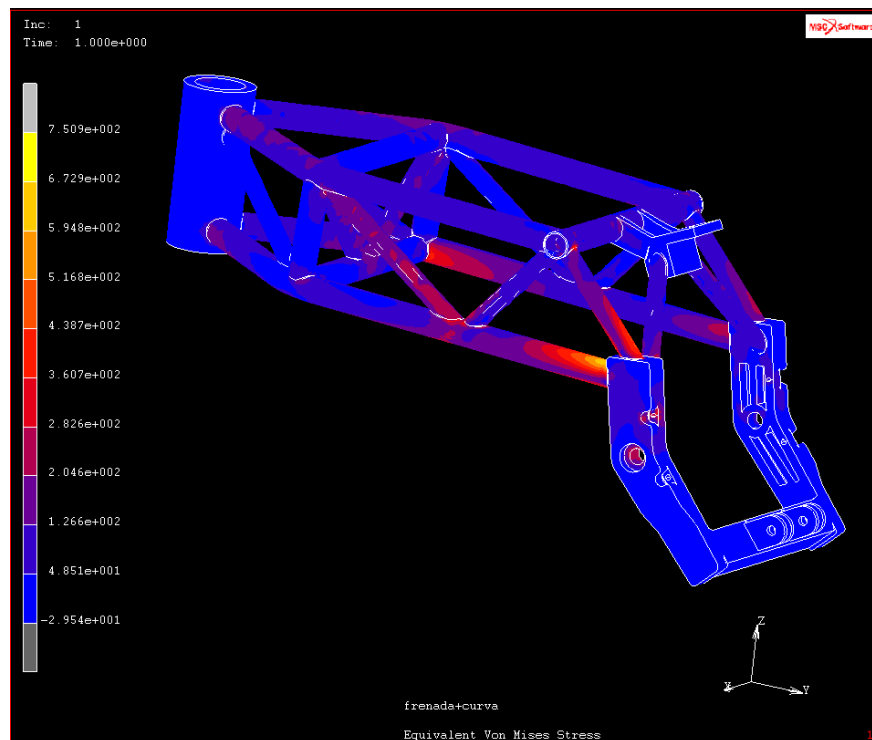


Figura 6.7-Tensiones sobre el chasis.

Las tensiones máximas se vuelven a dar donde antes, en las uniones de las barras con el bloque macizo. Se ve como uno de los lados sufre más que el otro debido al sentido de las fuerzas laterales (dependientes de la curva). La tensión máxima que se obtiene es de 751MPa en la unión de las citadas barras, siendo esta la zona más crítica. En la siguiente imagen se ve la única zona que está por encima de 500 MPa.

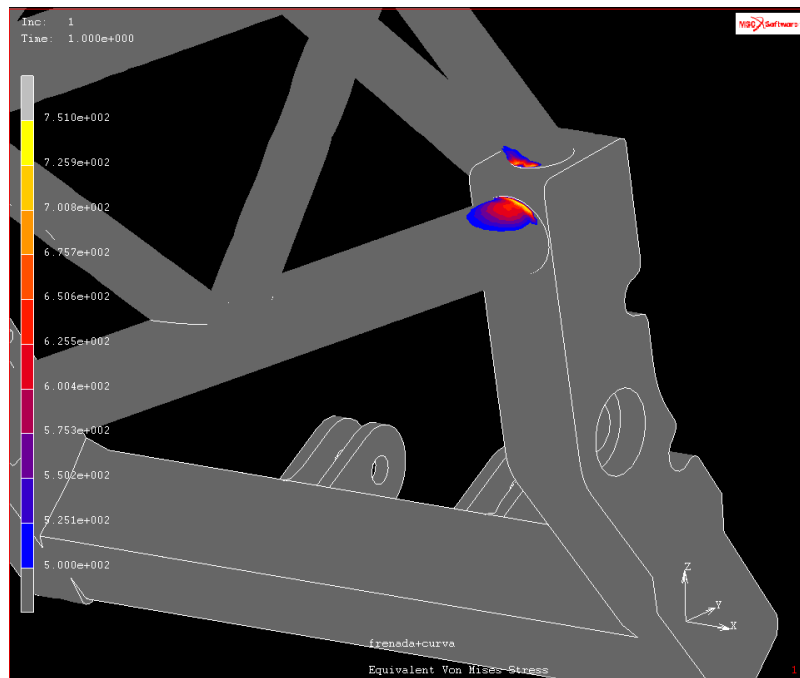


Figura 6.8-Tensiones superiores a 500 MPa.

Hay otras zonas no tan críticas pero que tiene una tensión considerable, alrededor de 300MPa. Como se puede apreciar en siguiente imagen.

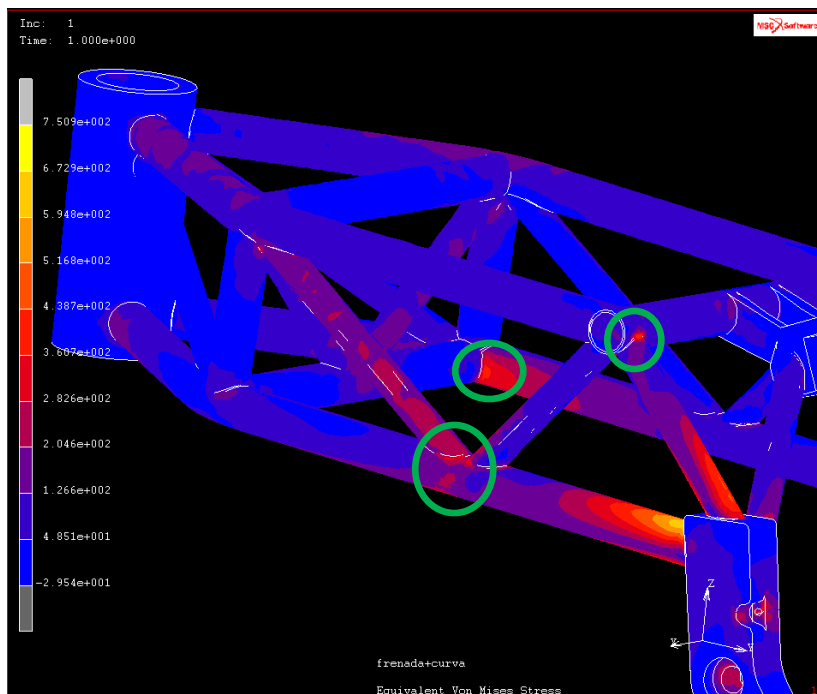


Figura 6.9-Tensiones de 300 MPa.

Hay que destacar que para este ensayo los resultados obtenidos con ambos programas nos dan resultados muy similares. Las tensiones máximas se producen en los mismos lugares con valores muy parecidos y las zonas de riesgo son las mismas en ambos modelos.

Como conclusión de este análisis podemos decir que la zona más crítica es la misma que en el caso anterior. Habrá que tener en cuenta que la presencia del motor y las suspensiones harán que las tensiones se vean reducidas pero aun así parece que esa zona podría ser rediseñada para tratar de reducir la tensión. Aparecen otras zonas donde las tensiones son altas, sobre todo las uniones de las barras, que habrá que controlar.

6.1.3 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 este 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 la siguiente.

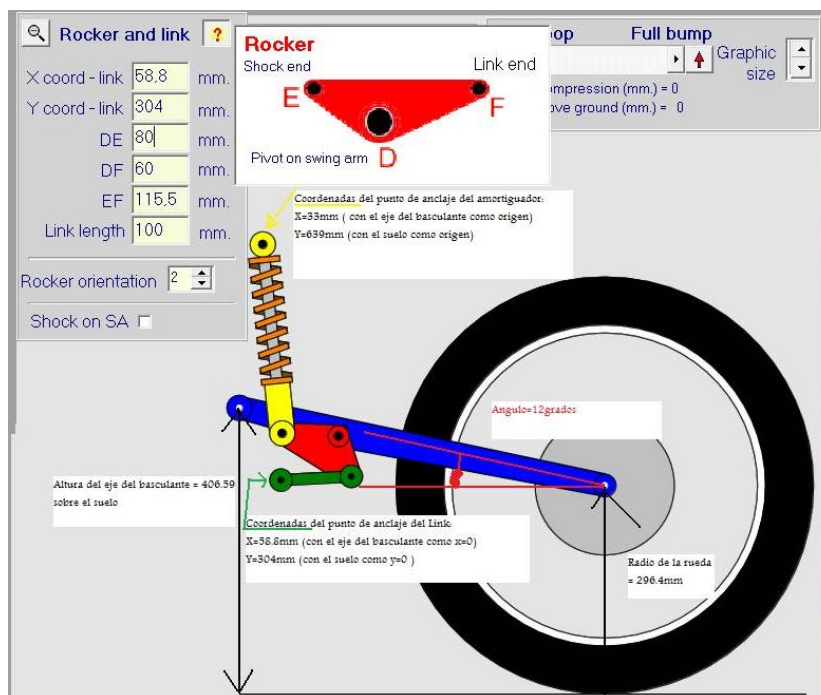


Figura 6.10-Configuración geométrica

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

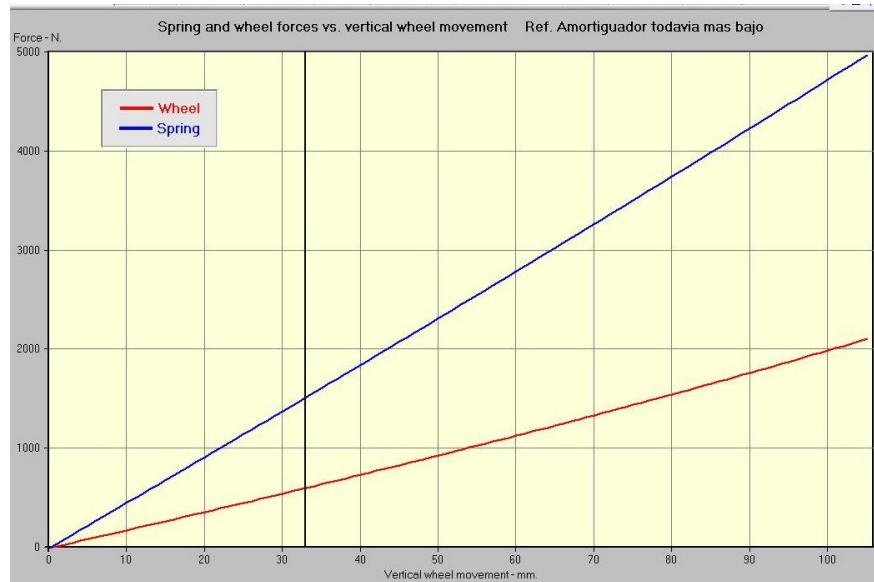


Figura 6.11-Fuerza vertical / Desplazamiento del neumático

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.

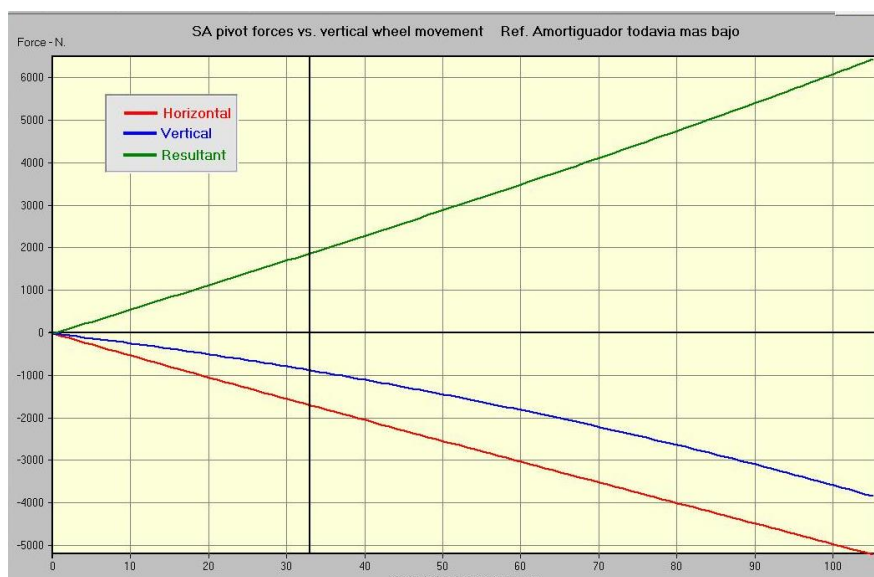


Figura 6.12-Cargas sobre el eje del basculante frente a desplazamiento.

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.

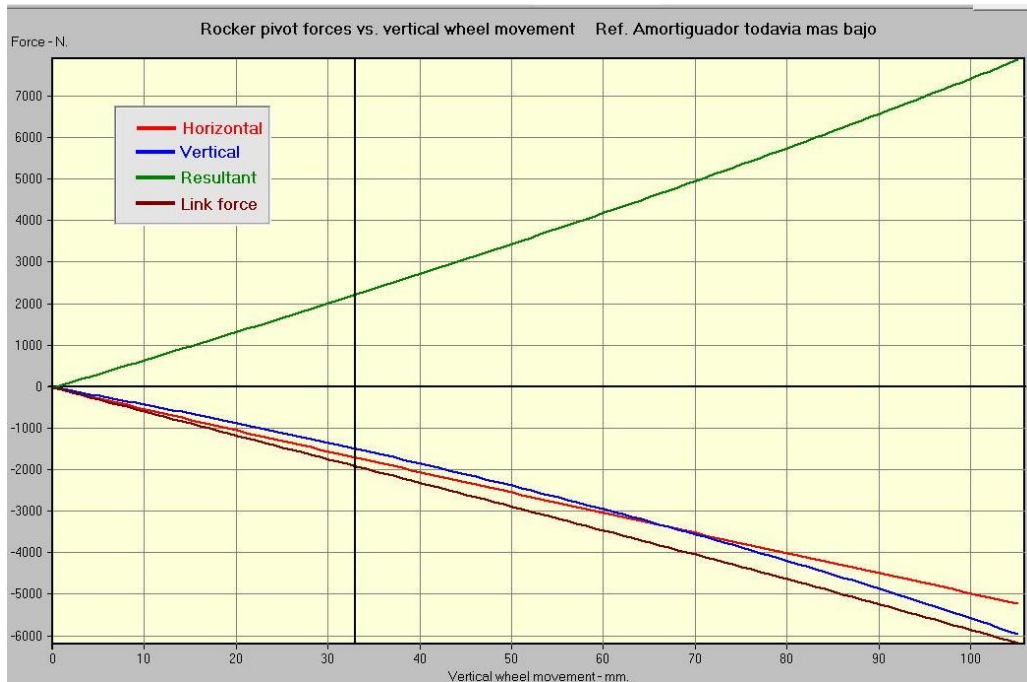


Figura 6.13-Fuerza / Desplazamiento vertical del neumático

Podemos observar en este gráfico como la fuerza sobre el tirante será de unos 6000 N. Esta carga es bastante elevada por lo tanto utilizaremos dos tirantes para así distribuir dicha carga.

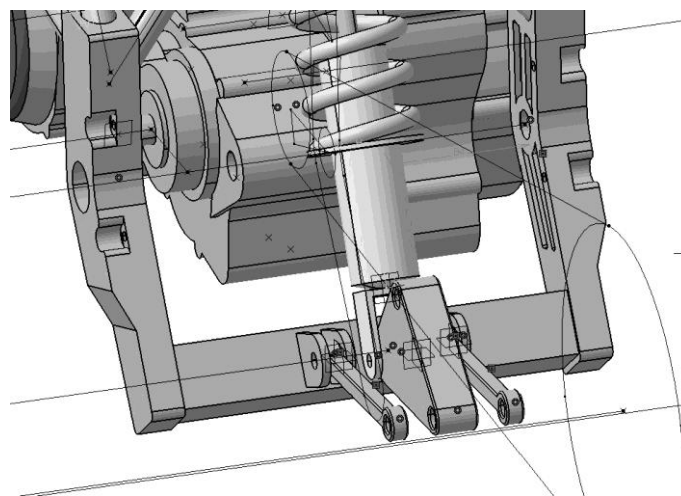


Figura 6.14-Sistema de bieletas

Vamos a tratar de representar esta situación al igual que antes en los dos softwares. Por un lado en CATIA anclaremos la pipa de dirección y aplicaremos las cargas sobre los anclajes del amortiguador, del tirante y en el anclaje del basculante.

Los resultados que obtuvimos son los siguientes.

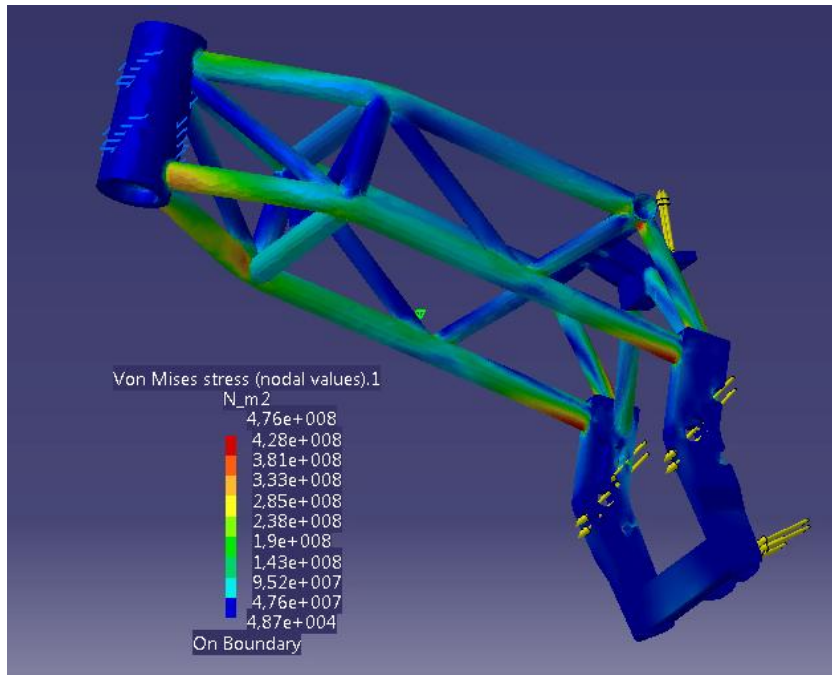


Figura 6.15-Chasis sometido a cargas del amortiguador.

En este caso podemos ver como las tensiones generales de todas las barras son algo mayores, estando cerca en muchos casos a los 150 MPa. Los picos de tensión se producen de nuevo en las uniones, pero en este caso una zona problemática sería la unión de las barras inferiores con la pipa de dirección. En esta zona se alcanzan valores cercanos a los 450 MPa. La presencia del motor y los amortiguadores harán que estas tensiones se vean reducidas.

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.

Volveremos a realizar el mismo ensayo pero este vez utilizando MARC. 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 fueron los siguientes.

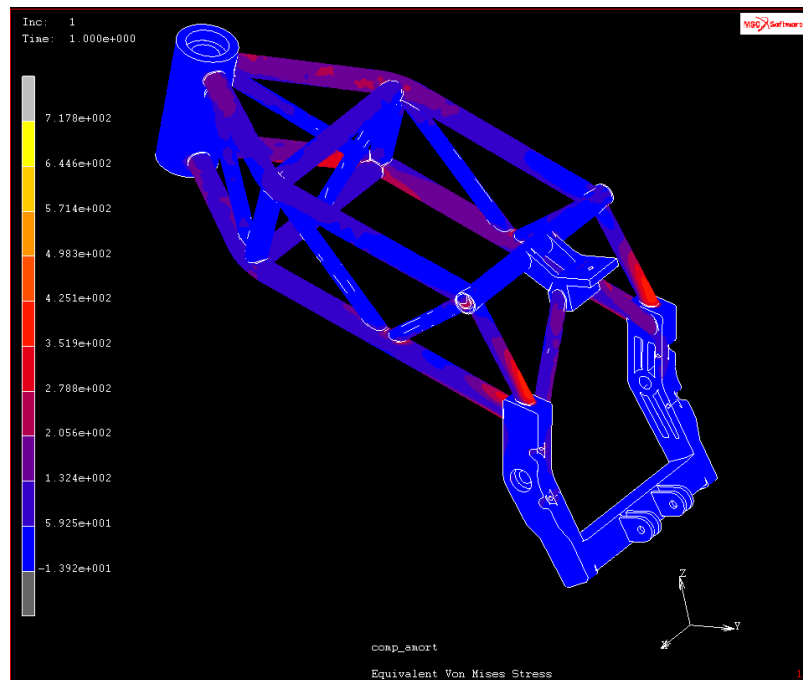


Figura 6.16-Tensiones sobre el chasis.

En este caso MARC nos dice que aparecen tensiones puntuales de alrededor de 700 MPa pero si nos fijamos en las zonas del chasis que trabajan a tensiones superiores a 500 MPa solo aparece la siguiente.

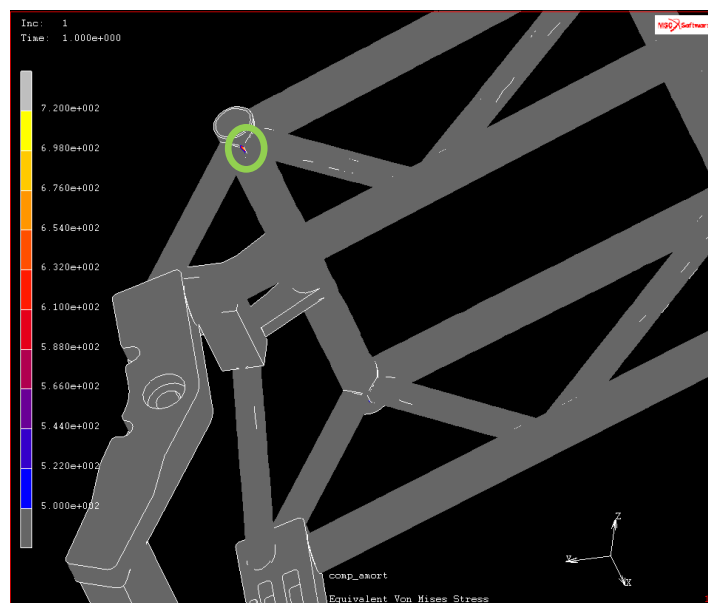


Figura 6.17-Tensiones superiores a 500 MPa

Se trata de una zona muy puntual en la unión a la cual no daremos mayor importancia.

Vamos a fijarnos ahora en las zonas en las que las tensiones superan los 200 MPa.

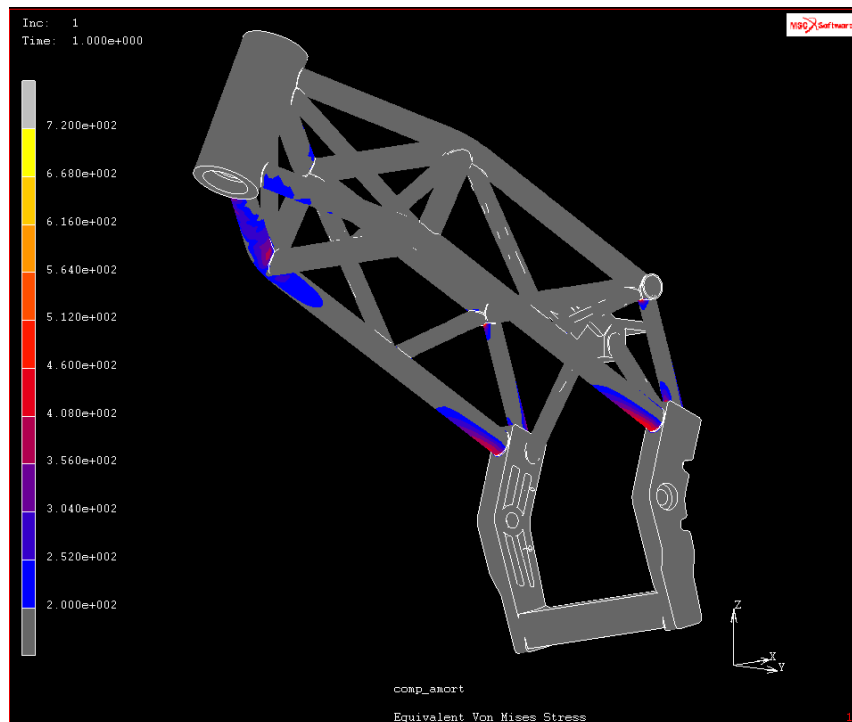


Figura 6.18-Tensiones superiores a 200 MPa.

Como podemos observar estas zonas son las uniones de las barras, a las cuales habrá que prestar especial atención. Las demás barras del chasis tendrán tensiones que rondaran los 150 MPa.

Como en el caso anterior los resultados obtenidos mediante ambos programas nos han dado resultados muy parecidos, además las zonas de riesgo han sido las mismas en los tres ensayos realizados. Por tanto daremos por buenos los resultados obtenidos.

6.1.4 Conclusión

Una vez realizados estos tres ensayos mediante dos software diferentes podemos llegar a una serie de conclusiones. Se han visto claramente que zonas están sometidas a las tensiones más altas, llegando en algunos casos a picos de tensión de alrededor de 700 MPa. Además las zonas cercanas a estas uniones soportan tensiones cercanas a los 400 MPa.

Esto nos obliga a realizar algunos ajustes sobre el diseño para tratar de reducir esas tensiones. Como ya hemos comentado varias veces la presencia del motor dentro de la estructura hará que esos valores se vean reducidos. Sin embargo al no saber el valor de esa disminución vamos a realizar pequeños ajustes sobre el diseño para mejorar las zonas de riesgo.

6.2 Rediseño

La presencia de tensiones tan elevadas en los ensayos realizados nos obliga a realizar pequeñas modificaciones de diseño para tratar de reducirlas. Lo que buscamos es que en ningún caso podamos sobrepasar la zona elástica del material, ya que esto nos generaría deformaciones permanentes que afectarían a la geometría de la motocicleta.

Como vimos en el apartado anterior la zona que más está sufriendo es la unión de la estructura triangulada con la pieza sólida donde se ancla el eje del basculante. La solución óptima sería unir dicha pieza con una nueva barra que distribuiría las tensiones.

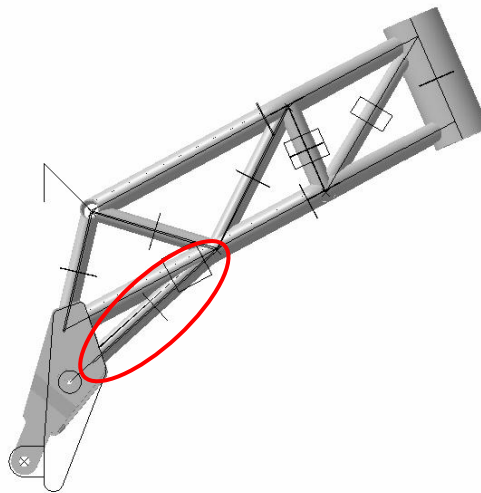


Figura 6.19-Posible solución de chasis.

Al introducir esta nueva barra además de distribuir las tensiones de manera más óptima evitamos que la unión de las barras con la pieza sólida sea únicamente un punto. El problema nos surge al introducir el motor en la estructura, ya que se produce una interferencia entre ambos, por lo tanto esta solución no es buena.

Ya que es imposible poner en práctica la solución anterior sin modificar la geometría de la motocicleta buscaremos una solución alternativa. Aumentaremos el diámetro de la diagonal y trataremos de que las dos barras que se unen con la pieza sólida lo hagan en puntos más alejados.

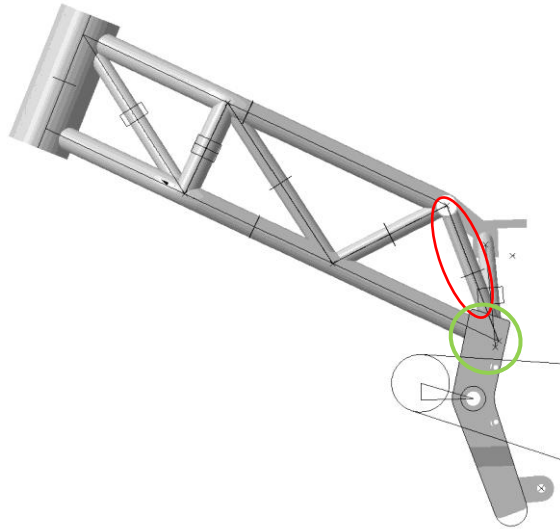


Figura 6.20-Chasis sin modificar

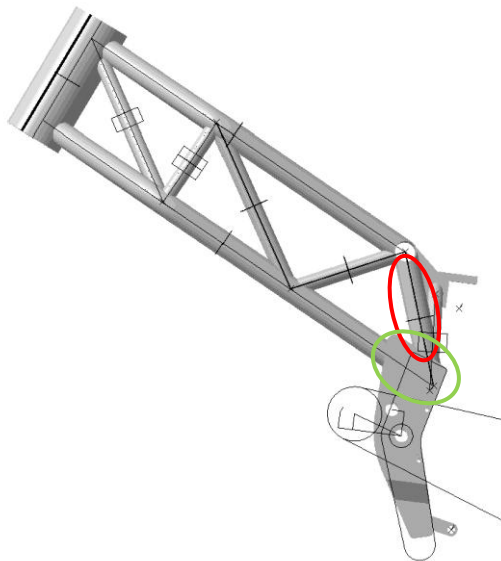


Figura 6.21-Chasis modificado

Mediante estas dos modificaciones se pretenden reducir las tensiones puntuales que se producían en los ensayos realizados. El problema de esta solución es el aumento de peso de la estructura, ya que una parte importante del peso del chasis está concentrado en la pieza sólida y un aumento de su tamaño producirá un aumento del peso.

6.2.1 Ensayos

Ahora vamos a realizar los mismos ensayos que realizamos al modelo anterior sobre este modelo. A la vista de que los resultados obtenidos mediante los dos softwares utilizados eran muy parecidos en este caso realizaremos las tres pruebas mediante CATIA.

En estos ensayos anclaremos y aplicaremos las cargas sobre el chasis igual que lo hacíamos en los ensayos anteriores. La idea es buscar cuales son las diferencias en los resultados debidas a los cambios realizados.

- Frenada máxima:

En este caso los resultados obtenidos para el ensayo de frenada máxima son los siguientes.

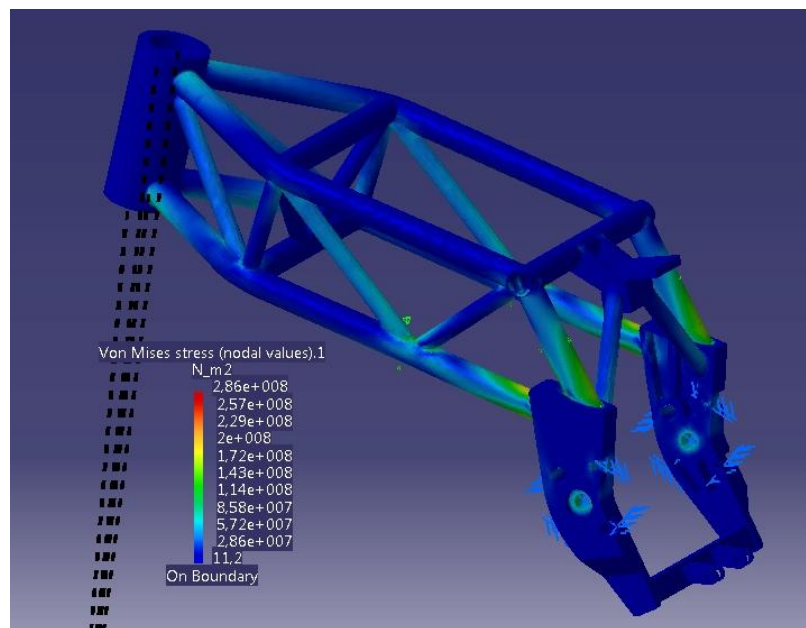


Figura 6.22-Ensayo en frenada.

Las tensiones máximas se siguen produciendo en la misma zona como era de esperar, pero se han visto reducidas. Pasamos a tener una tensión puntual máxima de 286 MPa en la unión, pero en los alrededores de esta las barras trabajan a tensiones que rondan los 150 MPa. Además la diagonal que antes tenía tensiones muy elevadas ahora trabaja a unos 100 MPa.

- Combinación de frenada y curva

Para este caso obtuvimos los siguientes resultados.

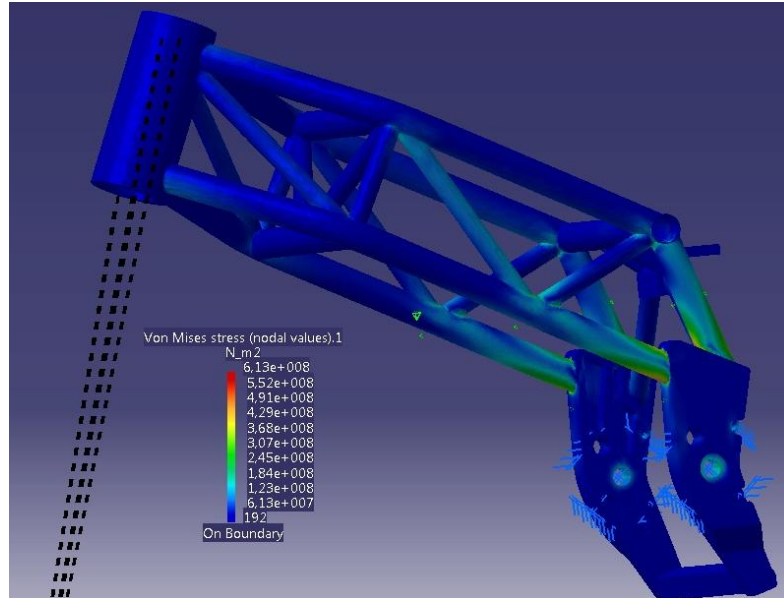


Figura 6.23-Curva y frenada.

En este caso si se puede apreciar una disminución apreciable de la tensión máxima, pasando de unos 813 MPa a unos 613 MPa. Esta sigue siendo una tensión elevada pero ya se encuentra por debajo del límite elástico del material. Además la presencia del motor hará que este valor se vea disminuido.

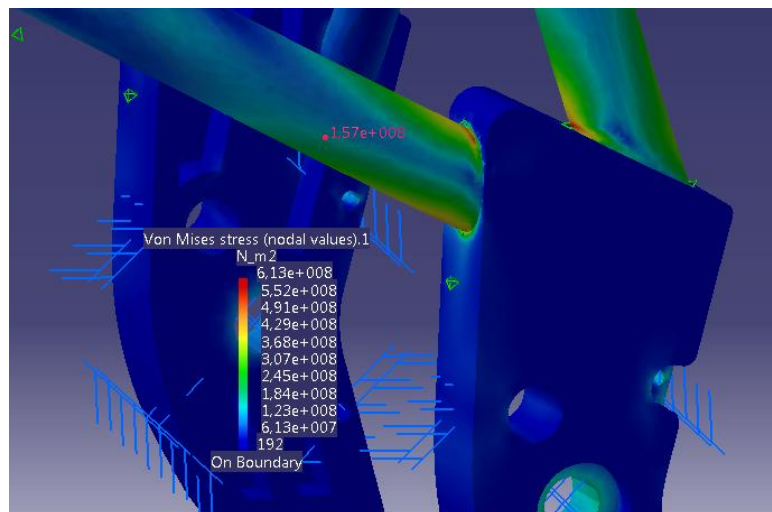


Figura 6.24-Vista en detalle de la unión.

Las zonas cercanas a la unión trabajan a tensiones cercanas a los 300 MPa y las diagonales a unos 100 MPa. Exceptuando la unión en la que aparecen tensiones altas

que habrá que controlar las tensiones en las barras del chasis no son excesivas para un acero de alta resistencia.

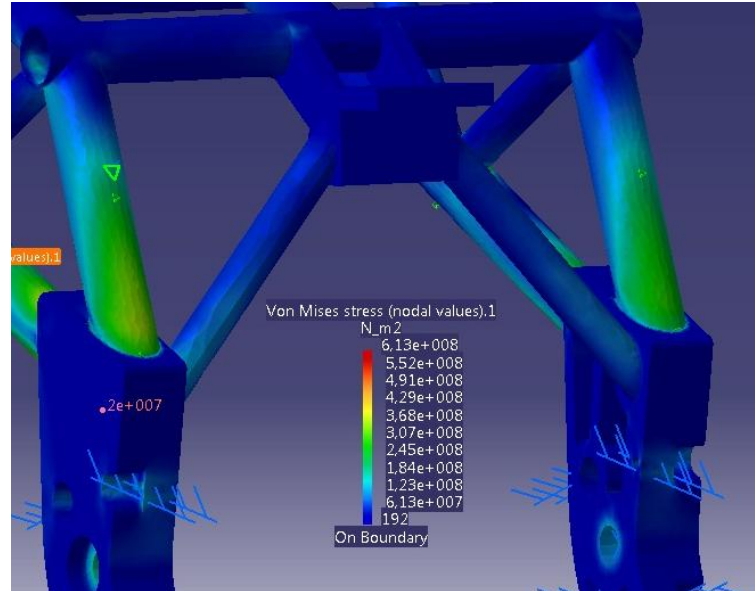


Figura 6.25-Vista en detalle de las diagonales.

- Carga máxima para la compresión del amortiguador trasero.

Hemos obtenido los siguientes resultados.

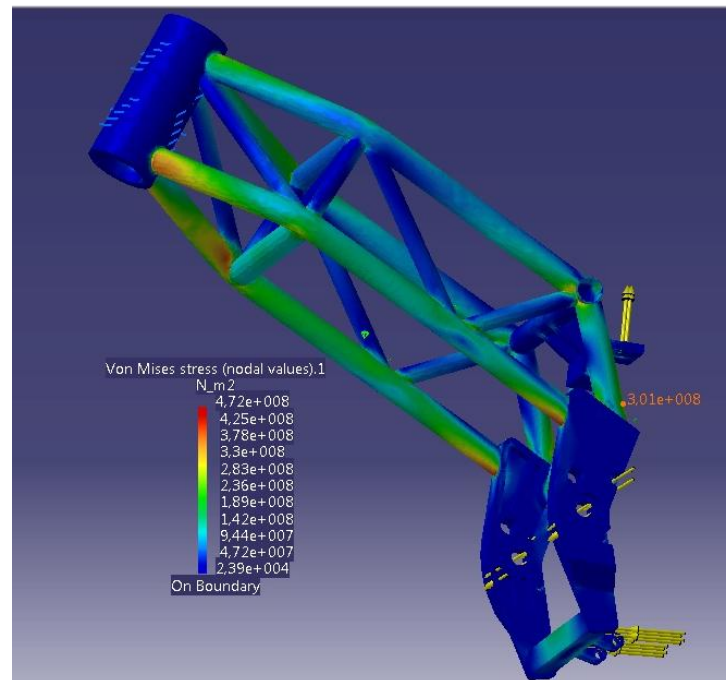


Figura 6.26-Chasis

En este caso las soluciones aportadas no reducen ni las tensiones máximas ni las zonas donde estas se producen. Lo que si se consigue es reducir las tensiones sobre la diagonal y reducir la zona que trabaja a tensiones altas.

Podemos observar como en este ensayo se alcanzan tensiones cercanas a 200 MPa en muchas barras.

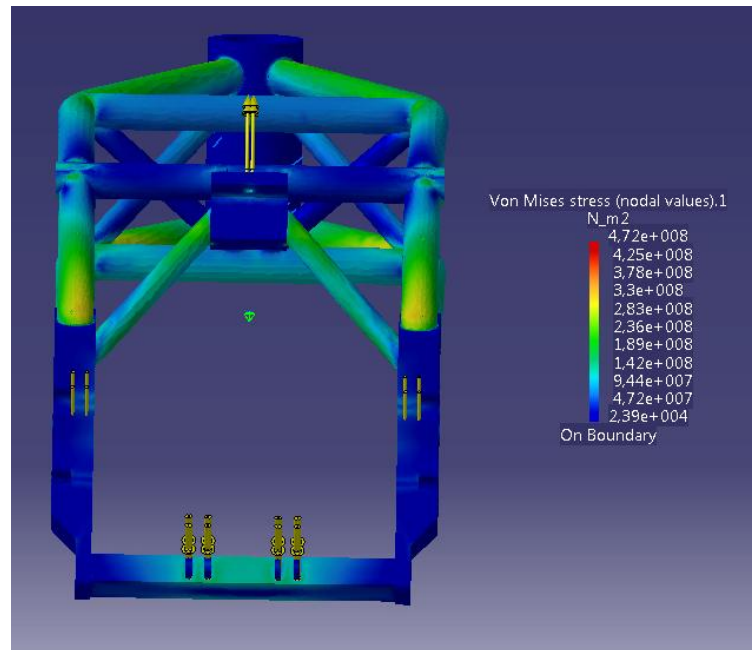


Figura 6.27-Vista posterior del chasis

Conclusión:

Parece que las modificaciones realizadas sobre el modelo reducen las tensiones máximas producidas y mejoran las zonas donde estas se producían. Por lo tanto tomaremos como buenas las modificaciones y las aplicaremos sobre el diseño final.

6.3 Cargas estáticas con el motor incluido

En este apartado vamos a realizar los mismos ensayos que hemos ido realizando pero incorporaremos el motor al modelo. Esto nos permitirá evaluar su influencia sobre las tensiones que sufre el chasis.

El modelo de motor que introducimos al chasis es un modelo sólido que no representa la parte interior del mismo. Por lo tanto si aplicamos como material el acero estaremos cometiendo un error ya que estaremos aportando demasiada rigidez al conjunto. Como no sabemos cuál es la rigidez exacta del motor completo vamos a

realizar dos tipos de ensayos, uno aplicando acero a todo el motor y otro aplicando un material al cual definiremos una densidad y modulo de Young que tratan de ajustarse a los valores reales. Además tendremos en cuenta el peso del motor incluyéndola en las cargas aplicadas.

Lo ideal hubiera sido utilizar el motor como elemento estructural del chasis, ya que este aportaría gran rigidez al conjunto. Al no estar este prediseñado para tal efecto resulta imposible utilizar nuestro motor como parte estructural. Sin embargo su presencia dentro del chasis y sus anclajes a este aportaran cierta rigidez al conjunto que trataremos de estudiar.

Vamos a ensamblar el conjunto como lo haremos en la motocicleta, utilizando unos tirantes y la pieza sólida donde se ancla el eje del basculante.

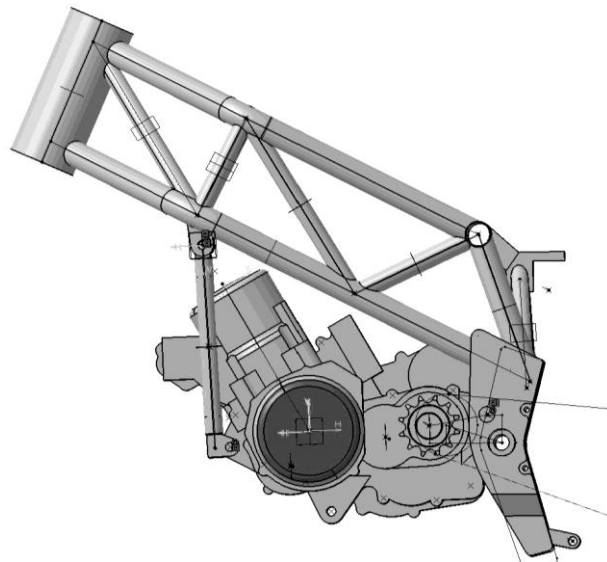


Figura 6.28-Vista lateral

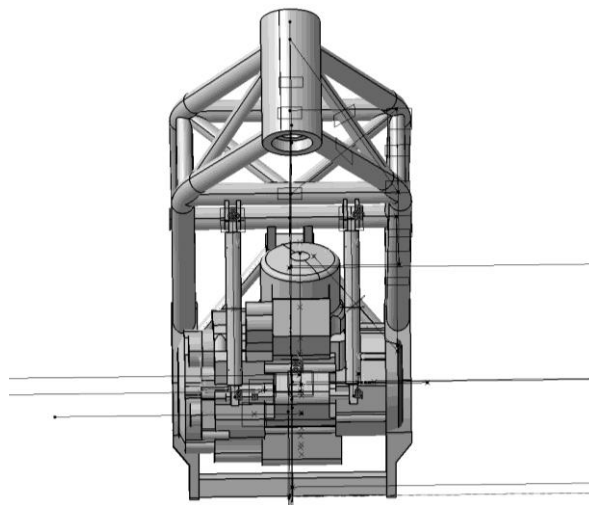


Figura 6.29-Vista frontal

Motor de acero

En este caso aplicaremos como material acero a todo el conjunto y realizaremos un mallado particular para cada elemento. Al motor y a los tirantes aplicaremos un mallado más grueso que al chasis ya que lo que realmente nos interesa son las tensiones sobre este. Las uniones entre los diferentes elementos serán uniones rígidas de forma que nuestro conjunto ensamblado se comportará como un único sólido.

- Frenada máxima.

Hemos obtenido los siguientes resultados.

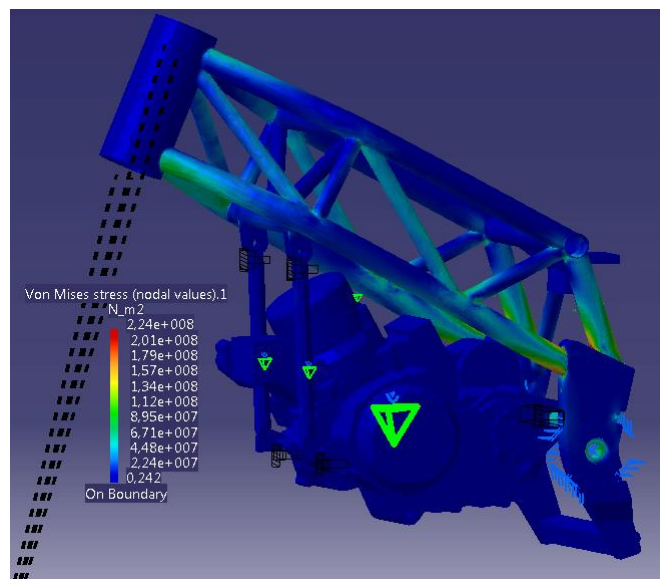


Figura 6.30-Tensiones en frenada máxima.

La tensión máxima se ve reducida pasando de 286 MPa a 224MPa y la zona donde se produce sigue siendo la misma. Lo que si podemos observar es como las barras inferiores que se unen con la pipa de dirección se encuentran más cargadas de lo que estaban antes. Esto es debido a la unión directa a través del motor de la pieza sólida con la barra transversal que se encuentra tras la pipa de dirección. Esto hace que esa zona pase de trabajar a 50 MPa a alrededor de 100 MPa.

- Combinación de frenada y curva.

Obtuvimos los siguientes resultados.

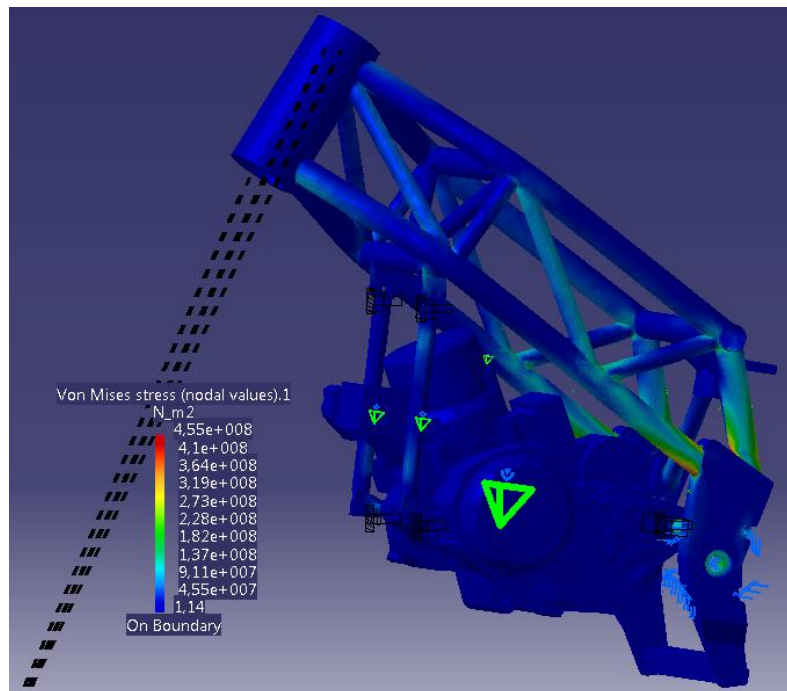


Figura 6.31-Tensiones en curva y frenada.

Para este ensayo se aprecia una disminución considerable de la tensión máxima pasando de un valor de 613 MPa a 455 MPa. Parece que la presencia del motor mejora el comportamiento del chasis cuando se producen cargas laterales que provocan la torsión de este.

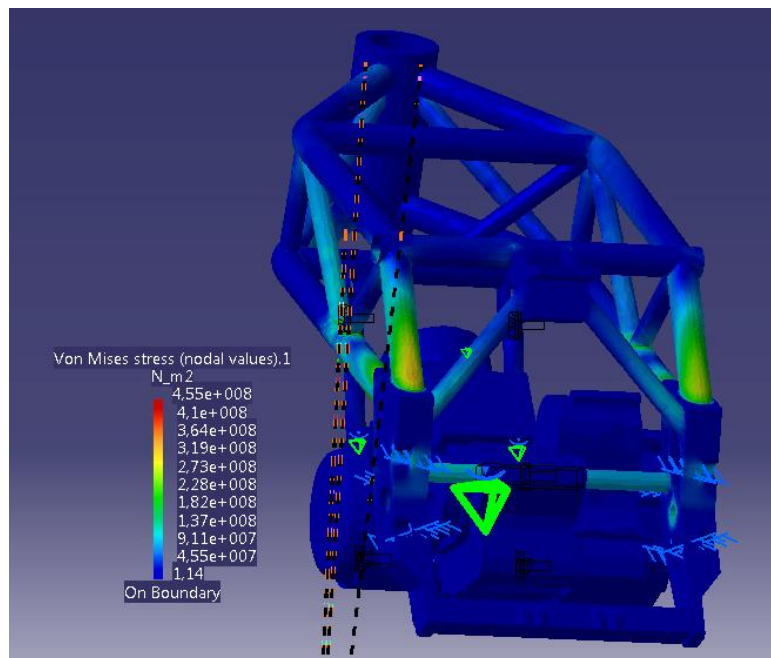


Figura 6.32-Vista posterior del chasis en curva y frenada.

En la imagen anterior podemos ver como la barra que soporta el motor se encontrará trabajando a unos 100 MPa.

- Carga máxima para la compresión del amortiguador trasero

Los resultados obtenidos son los siguientes.

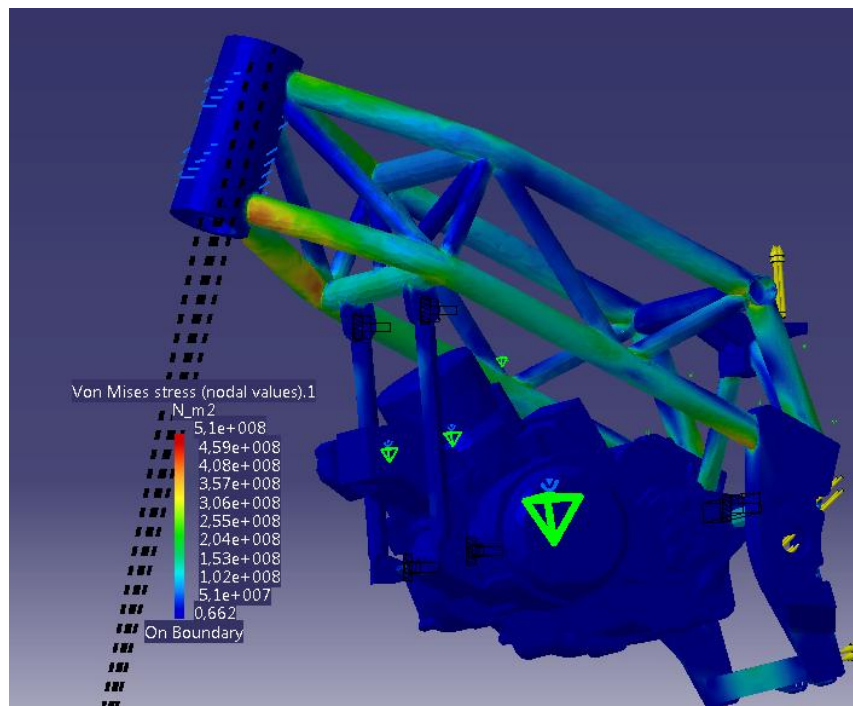


Figura 6.33-Tensiones para la compresión del amortiguador trasero.

En este caso la tensión máxima no se ve prácticamente afectada en valor, pero si en la zona donde se produce, pasando a ser la unión de las barras inferiores con la pipa de dirección. La zona que hasta ahora era problemática pasa a tener tensiones de unos 300 MPa y son las barras inferiores de la pipa de dirección las que más sufren.

Motor de material 1

Como hemos comentado antes volveremos a realizar los mismos ensayos pero en este caso aplicando un material al motor cuyas características serán definidas según nuestros intereses.

Utilizaremos una densidad que haga que el peso total del motor sea el mismo que su peso real. En cuanto al modulo de Young elegiremos un valor bastante inferior al del acero de forma que nos dé una rigidez del conjunto menor. Así veremos cuáles son las diferencias entre las tensiones producidas en ambos casos y nos haremos una idea de su valor real. Ya que este valor se encontrará entre las dos situaciones, entre un motor tremendamente rígido y otro con una rigidez notablemente menor.

- Frenada máxima

Los resultados obtenidos para este ensayo son los siguientes.

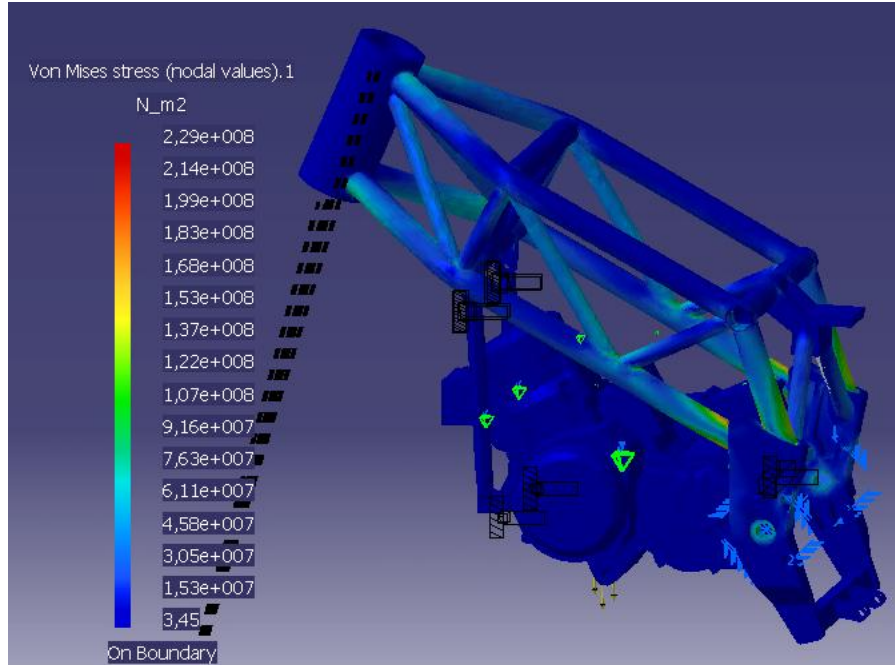


Figura 6.34-Tensiones en frenada máxima.

Las tensiones máximas obtenidas mediante este ensayo son muy parecidas a las obtenidas con el motor de acero. En este caso la tensión máxima es de 229 MPa frente a los 224 MPa que se obtenían antes. En la siguiente imagen podemos observar las únicas zonas que trabajan a tensiones superiores a los 150 MPa.

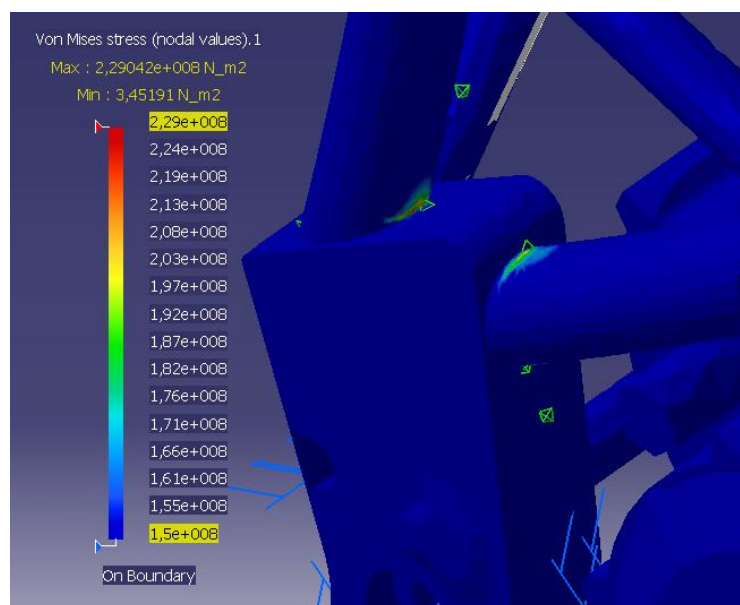


Figura 6.35-Tensiones superiores a 150 MPa.

Por último vamos a ver cuáles son las zonas que se encuentran trabajando entre 100 MPa y 50 MPa.

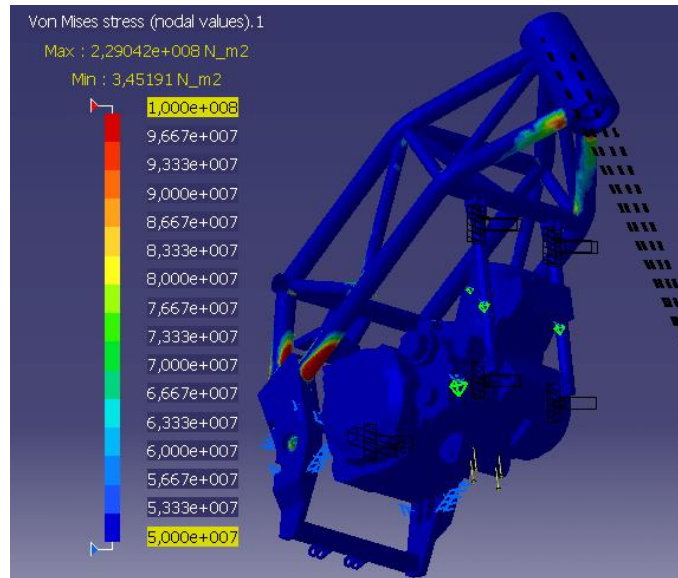


Figura 6.36-Tensiones entre 100 MPa y 50 MPa

Podemos concluir que para este ensayo no se aprecian cambios significativos entre los motores.

- Combinación de frenada y curva

Volvemos a repetir el ensayo en el cual se combina una curva con una frenada sobre el modelo con el motor del material definido. Los valores de tensión máxima son algo superiores a los de su ensayo homologado pero la diferencia sigue sin ser significativa, pasando de 455 MPa a 463 MPa.

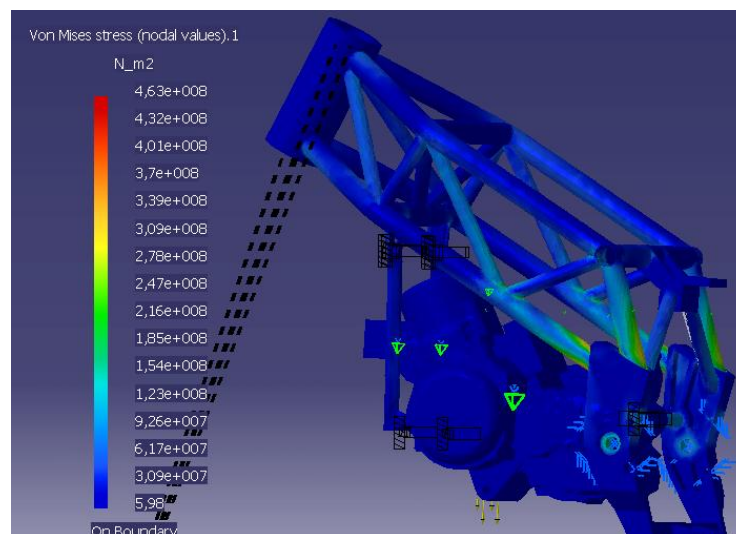


Figura 6.37-Tensiones en frenada y curva.

Las zonas donde se producen las tensiones máximas y las tensiones a las que trabajan las barras son muy parecidas al caso del motor de acero.

- Carga máxima para la compresión del amortiguador trasero

Al igual que antes volveremos a realizar el ensayo.

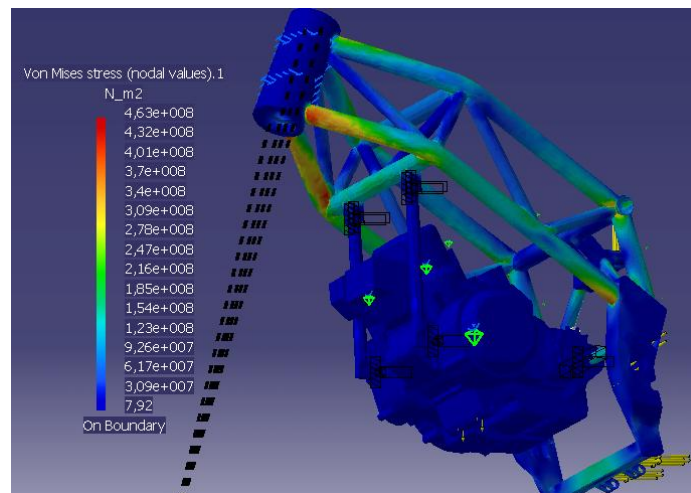


Figura 6.38-Tensiones en máxima compresión del amortiguador trasero.

Las tensiones máximas vuelven a alcanzar valores similares y las zonas donde estas se producen son las mismas. Vemos claramente como para estos ensayos las barras que trabajan a mayores tensiones son las que se unen a la pipa de dirección por su parte inferior.

En esta imagen podemos ver aquellas zonas que se encuentran trabajando con tensiones superiores a los 300 MPa.

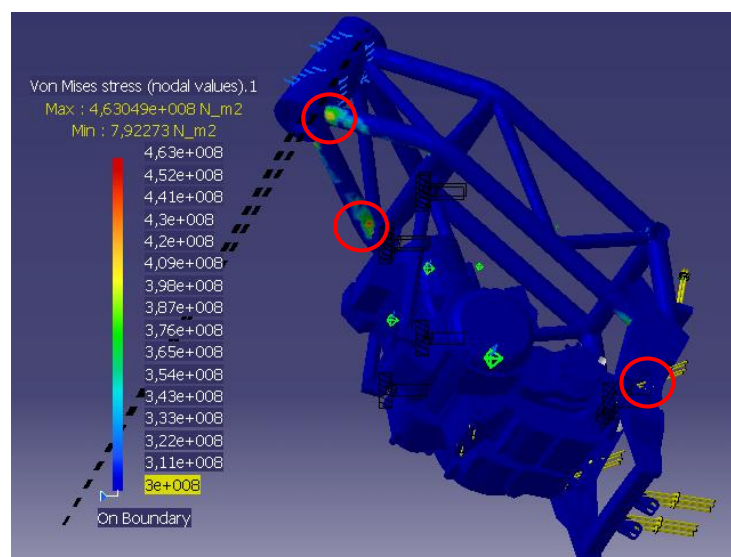


Figura 6.39-Tensiones superiores a 300 MPa

Vistos los resultados obtenidos y la similitud entre ellos podemos considerar que para estos ensayos el modulo de Young del motor no afecta de manera significativa a las tensiones. Esto es debido a que el motor es un elemento significativamente mayor que la estructura del chasis y a que sus uniones con este son únicamente dos tirantes y el eje trasero. Por lo tanto como comentábamos antes el motor no es parte estructural del chasis pero debido a su tamaño y a estar anclado a la estructura aporta cierta rigidez al conjunto.

6.3.1 Aceleración máxima

Ya que hemos realizado un modelo del chasis con el motor incluido vamos a realizar un ensayo suponiendo la máxima aceleración. Esta situación viene condicionada por la potencia del motor y se produce engranando la primera marcha y con el motor girando a 9000 rpm.

Para estas condiciones tendremos sobre el neumático una fuerza longitudinal de 1020 N y una vertical de 1263 N. Al igual que en el caso anterior aplicaremos un coeficiente de seguridad de 1,5 de forma que tendremos 1530 N longitudinales y 1895 N verticales. La cadena nos producirá un momento de reacción sobre el piñón de 95 Nm.

Esta carga vertical provoca una compresión del amortiguador trasero produciendo las siguientes cargas. El amortiguador sufrirá 3100 N, el tirante 3800 N y el eje del basculante -1990 N verticales y -3350 N longitudinales.

Elemento	Fuerza (N)	Fuerza mayorada (N)
Amortiguador	3100	4650
Tirante	3800	5700
Basculante x	1990	2985
Basculante z	3350	5025

Utilizaremos el modelo anterior de chasis fijando la pipa de dirección y aplicando las cargas anteriores y el momento que se genera en el piñón.

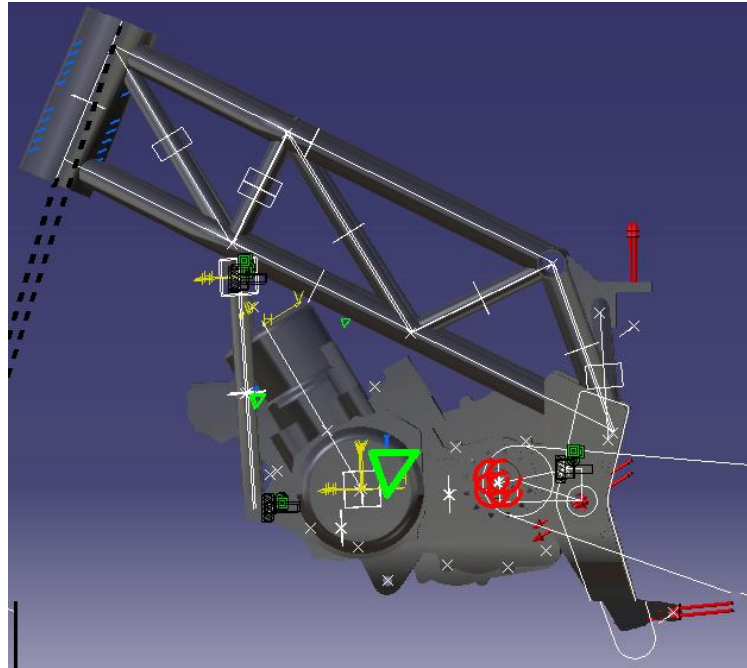


Figura 6.40-Cargas en aceleración máxima.

Obtuvimos los siguientes resultados.

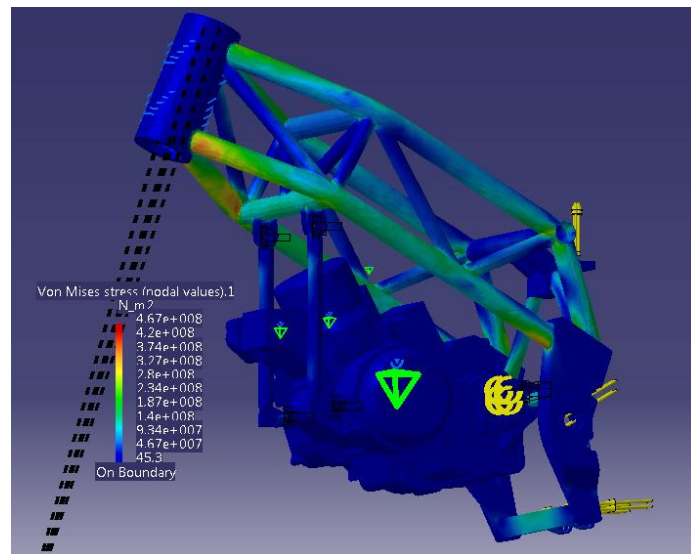


Figura 6.41-Tensiones en aceleración máxima.

Como podemos observar las tensiones que aparecen son muy parecidas a las que se producían en compresión máxima. Se alcanzan valores de tensiones máximas de 467 MPa en la barra inferior que se une con la pipa de dirección. Las zonas de alta tensión son las mismas que en los casos anteriores y las tensiones en las barras rondan los 150 MPa.

6.3.2 Conclusión

El motor en nuestro caso no es un elemento estructural pero si nos aporta cierta rigidez y hace que las tensiones se distribuyan de manera diferente. La zona donde antes sufríamos las tensiones más elevadas ve como parte de esos esfuerzos los trasmite el motor a la barra transversal que se encuentra tras la pipa. Podríamos decir que el motor nos distribuye mejor las tensiones haciendo que el conjunto trabaje a niveles mayores pero que las zonas donde antes se producían los máximos tengan tensiones más bajas.

6.4 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, como otros cálculos usando el FEM, el objeto que se analiza puede tener formas arbitrarias y los resultados de los cálculos son aceptables. Los tipos de ecuaciones las cuales surgen del análisis modal son esas vistas en Sistemas propios. La interpretación física de los valores propios y vectores propios las cuales vienen de resolver los sistemas son esas 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 vibrara, dominando todas las modalidades mayores de frecuencias.

Esto es también posible para probar un objeto físico para determinar sus frecuencias naturales y las formas modales. A esto se denomina análisis modal experimental. Los resultados de las pruebas físicas pueden usarse para calibrar un modelo de elemento finito para determinar si las hipótesis subyacentes hechas fueron correctas (por ejemplo, propiedades correctas 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 la tarea del análisis modal determinar la forma de esos modos. La vibración de una estructura es siempre una combinación o una mezcla de todos los modos de vibración. Pero no todos están excitados al mismo grado.

Son características independientes de la carga y dependen únicamente de la pieza. Lo normal es utilizar Hz siendo 1 KHz el valor máximo de las frecuencias que se obtengan. Las frecuencias importantes serán las bajas y haremos el análisis para obtener los primeros 5 modos.

Para nuestro caso vamos a realizar cuatro ensayos diferentes, los dos primeros los haremos únicamente al chasis y el último al conjunto chasis motor.

Ensayo 1

El primer ensayo consiste en realizar un análisis modal al chasis anclándolo a través de la pipa de dirección, con esto tratamos de obtener las frecuencias de resonancia y modos de vibración que pueden ser excitados por el basculante.

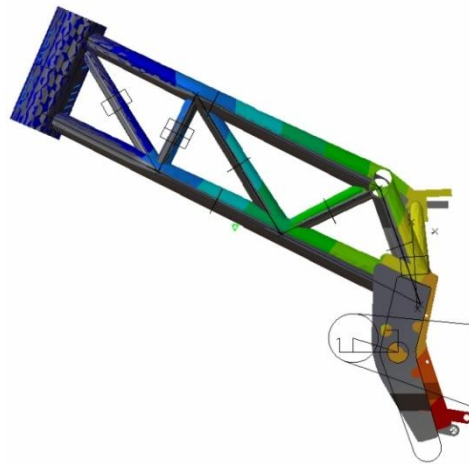
Las frecuencias obtenidas para los 5 primeros modos de resonancia son los siguientes.

Modos de vibración	Frecuencias de resonancia (Hz)
1	43
2	91,9
3	152,8
4	360,5
5	389,4

Ahora vamos a ver como serian los modos de vibración.



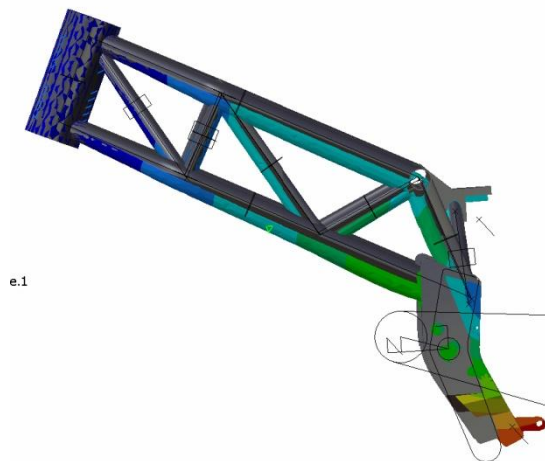
Modo 1



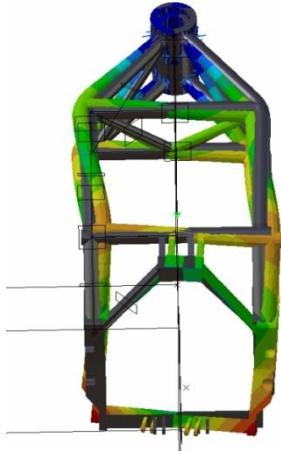
Modo 2



Modo 3



Modo 3



Modo 5

Ensayo 2

Vamos a realizar un ensayo análogo al anterior pero en este caso anclaremos el eje del basculante, con esto trataremos obtener cuales son las frecuencias y modos de vibración que puede excitar la horquilla delantera.

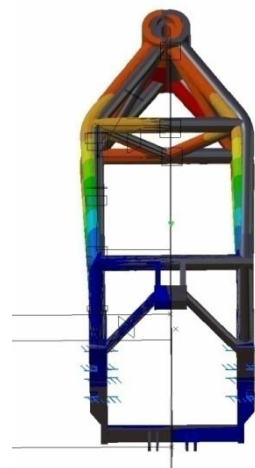
Obtuvimos los siguientes resultados.

Modos de vibración	Frecuencias de resonancia (Hz)
1	65,6
2	94,1
3	357,2
4	545,4
5	757,6

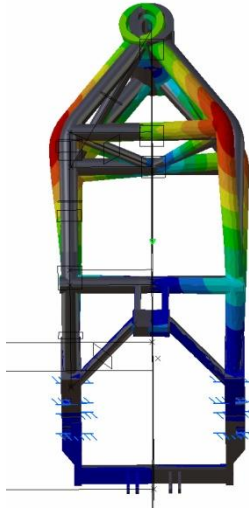
Los modos de vibración serian de la siguiente forma.



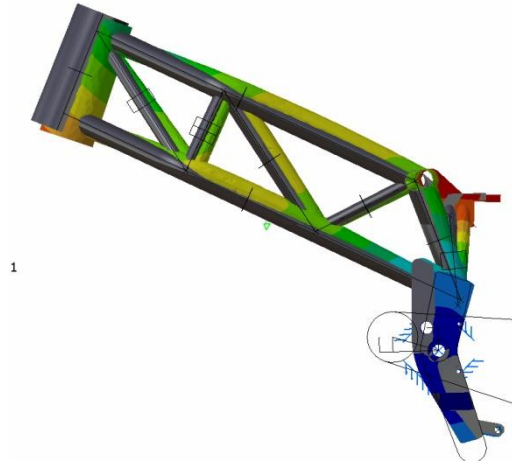
Modo 1



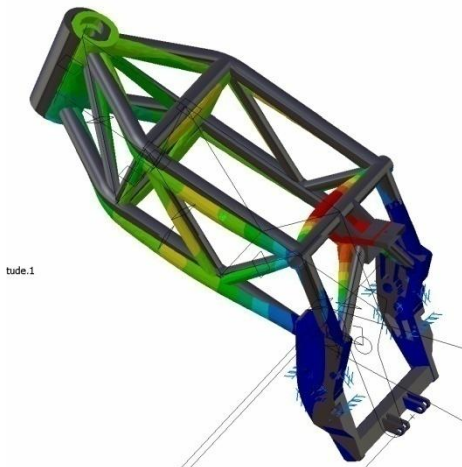
Modo 2



Modo 3



Modo 4



Modo 5

Ensayo 3

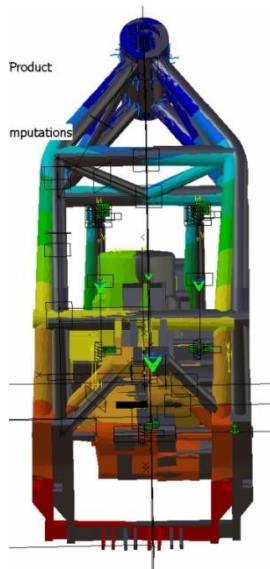
En este caso realizaremos los ensayos anteriores pero incorporaremos el motor de manera rígida al conjunto. Como hemos comentado antes el motor está fabricado de acero pero en su interior tiene huecos sin material, por el contrario nuestro modelo en CATIA es un sólido. Para poder realizar un análisis que nos aporte resultados óptimos vamos a definir un material que haga que el peso del modelo en CATIA sea el mismo que el real, así representaremos de manera más real la influencia del motor en el análisis modal. En este primer ensayo anclaremos la pipa de dirección y obtendremos las 5 primeras frecuencias de resonancia con sus modos propios.

Los resultados son los siguientes.

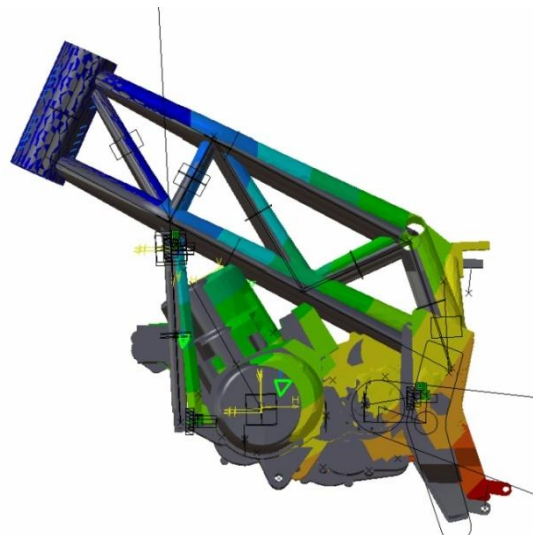
Modos de vibración	Frecuencias de resonancia (Hz)
1	27,9
2	54,7
3	97,6
4	144,9
5	188,3

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

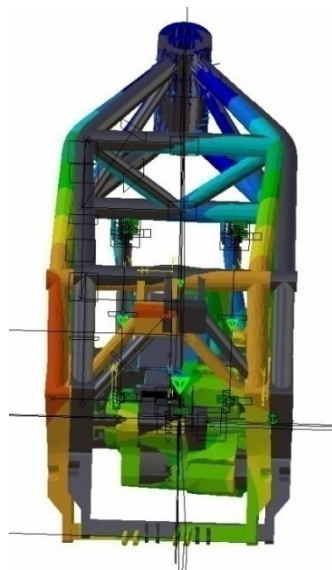
Los modos de vibración son los siguientes.



Modo 1



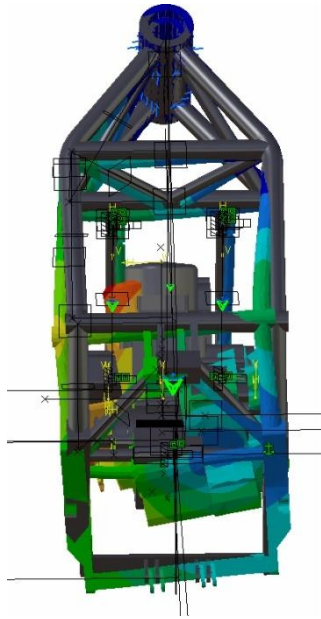
Modo 2



Modo 3



Modo 4



Modo 5

Ensayo 4

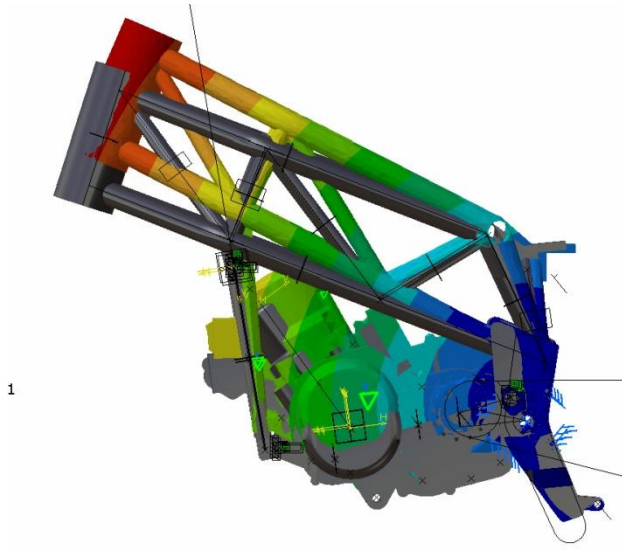
Volveremos a realizar el ensayo anterior pero en este caso anclando el eje del basculante.

Los resultados son los siguientes.

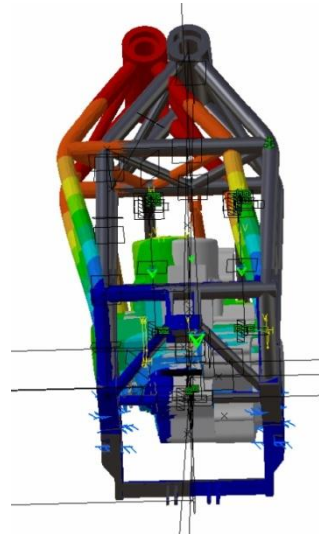
Modos de vibración	Frecuencias de resonancia (Hz)
1	57,9
2	101,3
3	124,5
4	205,5
5	260,3

Al igual que nos ocurría antes las frecuencias de resonancia se ven muy reducidas respecto a los ensayos realizados sin el motor.

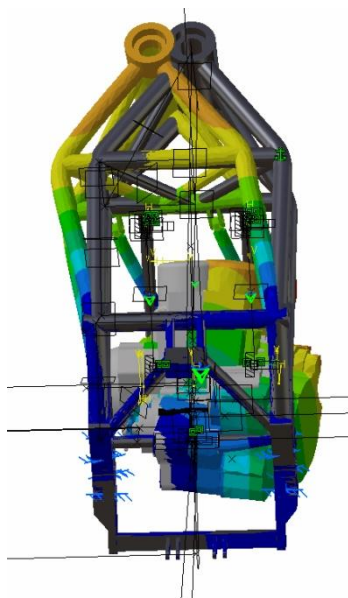
Los modos de vibración serán los siguientes.



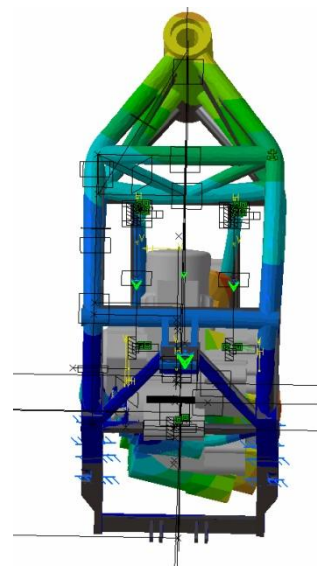
Modo 1



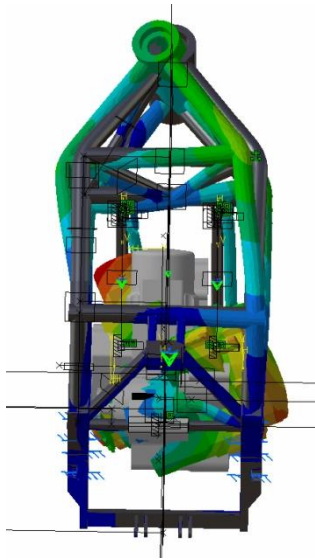
Modo 2



Modo 3



Modo 4



Modo 5

Conclusión

A la vista de los resultados obtenidos llegamos a una serie de 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.

Será necesario realizar un estudio de los rangos de vibración del motor y de sus armónicos para comprobar que no coinciden con las propias del chasis. En caso que lo hiciera habría que estudiar las uniones del chasis con el motor para evitar la resonancia.

7 Elección del acero

Una vez conocido el diseño y las cargas a las que se verá sometido el chasis vamos a seleccionar aquel material que mejor se ajuste a nuestras necesidades. Para ello vamos a realizar unos estudios comparativos entre las diferentes posibilidades a fin de encontrar aquel que nos aporte mejores resultados.

En la tabla que adjuntamos en los anexos llevamos a cabo un estudio análogo al anterior pero esta vez comparamos diferentes tipos de aceros para tener una idea más clara de qué tipo de acero de la infinidad que hay nos conviene elegir. Hemos decidido comparar un acero convencional de construcción como es el 355 con varios tipos de aceros llamados de “alta resistencia”.

El tubo de sección redonda siempre ha sido el más común en la producción de chasis, y no sólo porque es más barato que otros tipos de tubo, también es la mejor sección para resistir cargas de torsión y de compresión y es también capaz de resistir cargas de flexión en cualquier dirección por igual.

Los términos “cromo-molibdeno”, T45, 4130 y 531 se utilizan de manera habitual como si tuvieran algún significado mágico, que implica una ligereza y una rigidez extra. Estos términos son referencias industriales que se refieren a aceros que tienen algunos elementos en sus aleaciones que acentúan su resistencia, especialmente después de soldar. Su Módulo de Young, o lo que es lo mismo, su rigidez, no difiere de la del resto de aleaciones de acero, y tampoco varía su densidad (tal y como ya hemos comentado anteriormente). Si los sustituyéramos por otros tubos de acero de menor resistencia, del mismo tamaño, tanto el peso como la rigidez del chasis seguirían siendo los mismos.

Su ventaja radica en la máxima carga que el chasis puede llegar a soportar antes de llegar a romperse. Si la rigidez no supone un problema con una estructura o un miembro en particular, el empleo de tubos de alta resistencia permitirá que las paredes puedan ser más finas, por lo que podrá reducir el peso del bastidor. En cambio, si la rigidez resulta vital, entonces la mejor manera de utilizar este tipo de tubos consiste en reducir el espesor de la pared y aumentar el diámetro, pero en una proporción pequeña. Así, conseguiremos mejorar la rigidez y reducir el peso del chasis.

Este hecho sería de vital importancia en tecnologías de competición normalmente pero debido a la limitación de 90 kilogramos mínimos que por normativa de la organización debemos cumplir, y al tratarse de un valor lo suficientemente alto, provocaría que en el caso de hacer una estructura de este tipo de aleación deberíamos a

posteriori colocar unos lastres en la moto cosa que no interesa en ningún caso. Además que los tubos sean más finos dificulta un poco el proceso de soldadura.

Aceros de construcción 275 y 355

Son los típicos aceros de construcción utilizados en arquitectura en general (UNE EN 10027-1). Se trata de un material extremadamente barato pero con unas propiedades un tanto limitadas. Su rigidez es alta (como la de cualquier tipo de acero) pero la resistencia a tensión que aguantan dista mucho de ser la adecuada para soportar las enormes cargas que se dan en una motocicleta de competición.

Si bien es verdad, en un chasis perfectamente triangulado y diseñado concienzudamente para tener las menores cargas posibles, una estructura de este acero podría resistir. A ningún diseñador de motos de competición en su sano juicio se le pasaría por la cabeza fabricar una motocicleta con este tipo de aleación porque para conseguir la misma resistencia que con un chasis de aleación de alta resistencia habría que aumentar mucho los diámetros y espesores de tubo. Pero como en nuestro caso el peso no es tema prioritario ya que por normativa tenemos un peso mínimo elevado, y como además este tipo de acero es muy fácil de soldar, puede ser una opción perfectamente válida a estudiar.

T45

Se trata de un acero al carbono-manganeso con una composición típica de 0,2% de carbono y 1,5% de manganeso. Se ha usado habitualmente desde hace tiempo en aviación para trabajos de reparación por su ligereza y del mismo modo es una opción adecuada para nuestros requerimientos.

Cientos de motocicletas se han fabricado con este material que ha sido usado con éxito tanto para aplicaciones en carretera como para competición. T45 fue formulado especialmente para estructuras soldadas y es mucho más resistente que el acero templado, aproximadamente un 50% más. Los tubos de T45 tienen al menos un 20% de elongación por lo que se comporta extremadamente bien a la hora de doblarse. Esto no quiere decir que sea fácil de doblar, ya que estamos hablando de tubos muy resistentes.

Este material es realmente caro debido a que para alcanzar los valores de resistencia y ductilidad tan buenos que tiene debe de sufrir trabajo en frío continuados

además de tratamientos térmicos como por ejemplo un templado que al final es lo que se paga.

T45 es, por tanto un muy buen tubo para usarse en todo tipo de estructuras soldadas, no habiendo problemas de soldadura ni de fusión ni en bronce. La mayor limitación que tiene es una caída de alrededor del 30% de las tensiones admisibles tras la soldadura. De todas formas, y pese a esta limitación, las estructuras soldadas de este tipo de material siguen siendo más resistentes que la mayoría de aceros templados sin soldar.

Reynolds 531

Reynolds 531 es el nombre comercial de una aleación de acero al manganeso-molibdeno. Se trata de un tipo de aleación utilizada desde antes de la Segunda Guerra Mundial, pero no fue hasta después de ella en la que adquirió una gran importancia en la construcción de chasis de motocicletas de competición (mientras que para chasis de carretera se usaba acero templado convencional).

Lo más importante del 531, comparado con el T45 , es su capacidad para mantener la resistencia después de la soldadura, aunque se trate de una soldadura dura con plata o bronce. Hasta el punto de que se pueden conseguir caídas del límite elástico de tan sólo el 15% una vez soldada la estructura respecto al material original.

Este rasgo significa que la gente pasa por alto su capacidad para soldar. De hecho Reynolds creó esta situación especificando que el tubo 531 debería ser soldado con una soldadura dura. La razón era que los soldadores con una moderada habilidad eran propensos a recalentar el material cambiando su estructura de forma que el material se hace más endeble.

En realidad, la fusión del 531 suelda muy bien, pero por ejemplo soldadura de arco sólo es aceptable cuando el tubo tiene el suficiente espesor para negociar las concentraciones de tensiones que produce. En términos de producción es más eficiente que la soldadura de bronce pero no sirve para los casos de chasis ligeros que estamos discutiendo. Pruebas posteriores mostraron que los tubos de 531 soldados en bronce se comportaban especialmente bien en estructuras sujetas a fluctuación de cargas.

Hay varias razones para esto, pero básicamente la principal es la siguiente. Una fusión en soldadura combina una superficie relativamente rugosa con una repentina transición de rigidez y la combinación actúa como una importante concentración de tensiones. También hay más trastorno metalúrgico dentro de la zona calentada.

La soldadura en bronce es utilizada para reducir estos efectos y así permitir espesores de pared más finos. Así mismo los esfuerzos de fatiga eran considerablemente menores. Habiendo dicho esto, los largos cordones de soldadura asociados a la soldadura manual o de gas son el mayor problema aquí. No tenemos testes fiables pero dudo que una soldadura T.I.G de alta precisión sea significativamente inferior a fatiga a una soldadura en bronce.

Tal cual salido del laminador, Reynolds 531 tiene un dato mínimo de especificación del 10% de elongación. Sin embargo, cuando era producido por Reynolds, se ponía mucho empeño en que el material tuviera la suficiente ductilidad para que pudiese soportar los requerimientos de doblado típicos en una motocicleta. Actualmente el porcentaje de elongación está más cercano a rondar el 18%. Generalmente se usa el material tal y como sale del laminador y no es en absoluto necesario que sea templado.

Sin embargo, desde que el 531 dejó de hacerse en Reynolds es justo decir que el material puede que haya dejado de ser adecuado para doblarse en frío. De todas formas, el nuevo suministrador insiste en que el tubo producido tiene al menos un 20% de elongación y que, a pesar de que la fuerza que hay que suministrar para doblarlos es importante, se doblan muy bien.

Reynolds 753

Este tipo de aleación es el Reynolds 531 tratado térmicamente de forma que su resistencia a tensión aumenta hasta valores enormes de entre 1080-1280 N/mm²(MPa) y su elongación por su parte cae hasta valores sobre el 8%. Esto hace que el material no sea adecuado para trabajos en frío de doblado. Las uniones deben ser por soldadura de baja temperatura en plata con un punto de fusión máximo de 650° C si no el material pierde una alta proporción de su resistencia. Reynolds es la única fuente de este tipo de material, y lo hace con una restricción muy grande tanto en tamaños como en longitudes. Reynolds ha tratado de asegurarse de que únicamente es usado por compañías que pueden ser de confianza para no recalentar el tubo a la hora de la soldadura.

4130 Cromo-Molibdeno

El objetivo de este tipo de aleaciones Cromo-Molibdeno no es más que proveer al material de una fuerza suplementaria mientras se mantiene su soldabilidad así como la capacidad de deformación en frío, no siendo tampoco demasiado sensible al corte y a formarse muescas. Son aleaciones con poco % de carbono para precisamente facilitar la soldadura, u otra forma era aumentar el % de carbono y a la vez aumentar el manganeso para contrarrestar.

4130 es la aleación de acero de media resistencia más usada en motociclismo. Su bajo precio refleja la relativa simplicidad de fabricación que puede llevarse a cabo en menos pasos que en el caso del T45. Un proceso de producción típico sería el siguiente: recocido del material sin tratar a 720° C, laminado consiguiendo una reducción de área al 37%, recocido a 720° C y una segunda pasada con una reducción de área hasta el 36% y finalmente un templado a 550° C.

La mayor parte de este material se fabrica en Estados Unidos. Hasta hace poco tiempo la mayor parte de este acero tubular con pared de espesor delgado era producido para aplicaciones militares. El problema del 4130 es que hay que asegurarse de que tenga suficiente ductilidad ya que en las antiguas especificaciones se daba un valor mínimo de 10% de elongación, lo cual no lo hace muy apropiado para trabajos en frío.

En conclusión, 4130 es otra opción aceptable siendo un material muy resistente pero menos dúctil.

25CrMo4

Se trata de una aleación con una composición muy parecida al 4130, salvo en que utiliza un porcentaje menor de carbono por lo que ayuda a la hora de la soldadura. Es un material moderadamente caro utilizado específicamente en aviación y que se proporciona endurecido y templado.

Hay alguna opción más barata como es la opción comercial 1.7218 que suministra el material laminado y normalizado. Es una opción menos cara además que mantiene unas propiedades muy buenas similares a la de 4130 incluso reduciendo esa fragilidad a la hora de la soldadura. Sin embargo, ha habido un poco de inconsistencia

en lo que se ha denominado tubo normalizado, de ahí que los suministradores estén tomando cartas en el asunto.

15 CDV 6

Es una aleación de acero al cromo-molibdeno-vanadio originaria de Francia. En Europa es específico de componentes de aviación como por ejemplo en elementos de montaje del motor. Los equipos europeos de coches de competición lo han usado extensamente para fabricación de chasis. Los tubos disponibles para trabajo en frío tienen típicamente un 22% de elongación y un mínimo de resistencia a tensión de 700 N/mm². Sus características mecánicas son muy similares a las del T45, 531 y 4130. Si no necesita ser doblado, se pueden conseguir valores de 15% de elongación y 1000 N/mm².

El problema del 15 CVD 6 es que cuando se suelda con T.I.G se produce una pequeña caída en el esfuerzo que es capaz de soportar debido a su contenido en Vanadio.

Reynolds 953

Se trata de una aleación de acero martensítico desarrollada por Reynolds en asociación con una compañía estadounidense. Requiere un gran cuidado en la fabricación y es harto complicado para el trabajo en frío. Ofrece una altísima resistencia debido principalmente a su alto contenido en Titanio.

A pesar de su bajo contenido en carbono este tipo de aleación es complicada de soldar y en nuestro caso es totalmente inviable ya que los espesores de pared que proporcionan ni siquiera se acercan al milímetro por lo que inhabilitan completamente su utilización para la fabricación de nuestro chasis.

Reynolds 631

Se trata de un material que tiene muy buena disposición para ser trabajado en frío especialmente indicado para estructuras soldadas debido a su óptima soldabilidad mediante soldadura T.I.G. Apenas se produce distorsión y las tensiones internas que se dan por la soldadura son bastante escasas. Además la resistencia que se pierde debido al proceso de soldadura es casi insignificante

CONCLUSIONES

Finalmente nos hemos decantado por el acero Reynolds 631. Las razones principales por las que, tras mucho meditar, hemos decidido utilizar tubos de este tipo de aleación son básicamente las siguientes:

- Este material puede trabajarse en frío (doblarse) con facilidad además de que el proceso de soldadura es relativamente sencillo y eficaz.
- La disponibilidad de diámetros y espesores que nos ofreció Reynolds fue totalmente satisfactoria ya que IMCA nos pedía un mínimo de 1 mm de espesor para poder llevar a cabo la soldadura y finalmente conseguimos material de un espesor de 1,2 mm.
- El precio del material y las condiciones de importación desde el Reino Unido eran relativamente buenas.
- Este tipo de aleación ha sido ampliamente empleada en fabricación de chasis de competición. Un ejemplo actual es la fabricación de la Bottpower para la moto 2 de la temporada 2010-2011, cuyo chasis tubular está fabricado con acero Reynolds 631.
- Por último y no menos importante, el límite elástico que se consigue con este material hace que la resistencia contra las fuertes acciones que se producen sobre el chasis puedan ser correctamente absorbidas por la estructura sin necesidad de utilizar tubos de gran diámetro y espesor.

8 Diseño detallado

Una vez llegados a este punto vamos a realizar un análisis detallado del chasis de la motocicleta. Para ello primero comentaremos las soluciones adoptadas para las diferentes alternativas propuestas en el diseño conceptual.

8.1 Pipa de dirección

Tras realizar un pequeño estudio sobre las diferentes soluciones propuestas en el diseño conceptual se decidió utilizar el siguiente diseño de pipa.

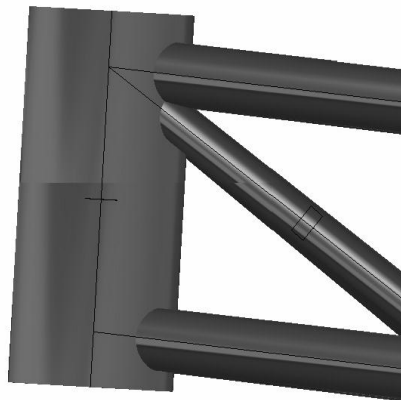


Figura 8.1-Pipa de dirección.

Consiste en un simple cilindro al cual se sueldan las diferentes barras de la estructura triangulada, su interior será mecanizado de forma que se puedan alojar unos rodamientos y se permita el paso del eje de la dirección.

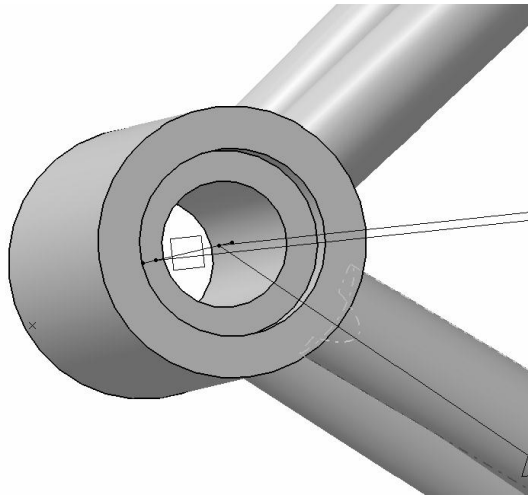


Figura 8.2-Vista superior de la pipa de dirección

La elección de esta solución es debida a su facilidad de fabricación y a su rigidez. Las demás soluciones comprometían este parámetro para permitir una entrada más directa del aire al airbox. Los beneficios que aportan estas soluciones no son suficientes como para llevar a cabo dichos diseños.

8.2 Anclaje del basculante

Finalmente se ha optado por utilizar una pieza mecanizada de acero donde anclaremos el basculante. Esta solución nos aporta mayor rigidez en una zona donde las cargas son elevadas además de una fabricación sencilla.

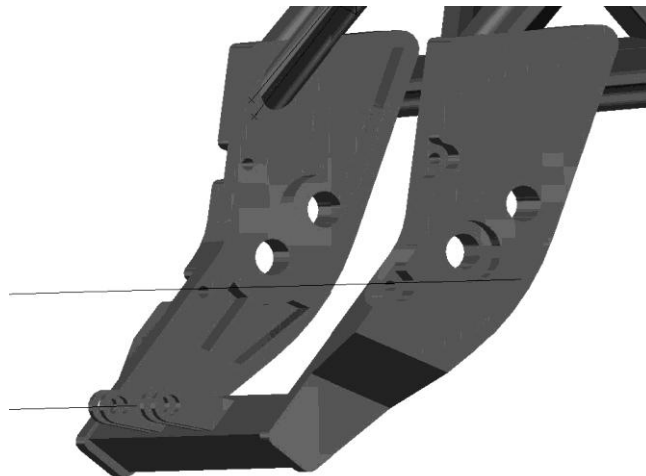


Figura 8.3-Anclaje del basculante

Como podemos ver en la imagen anterior esta pieza mecanizada nos permite situar sobre ella los múltiples anclajes necesarios. Para el anclaje del basculante no utilizaremos la pieza intermedia expuesta en el diseño conceptual, utilizaremos un eje fijo. Esto se debe a que mediante el anclaje del amortiguador trasero podremos variar la

geometría de la motocicleta, por lo tanto realizaremos de una forma más sencilla lo que nos permitía hacer la pieza intermedia.

Otra de las modificaciones realizadas es que ya no utilizaremos el eje del basculante para anclar el motor. Utilizaremos un eje secundario que nos permitirá situar el motor de la forma que nos interese para poder ensamblar todos los elementos y para jugar con el centro de gravedad.

El problema de utilizar esta pieza es el aumento de peso, ya que tiene un espesor de 30 mm necesario para poder soldar sobre él las diferentes barras de la estructura triangulada. Para evitar esto realizaremos una serie de mecanizados para quitar material en aquellas zonas donde las tensiones no son elevadas.

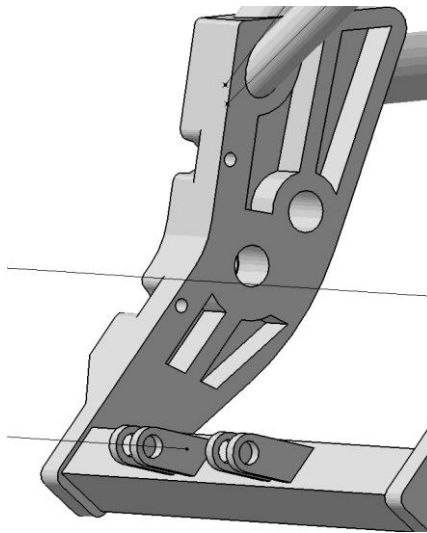


Figura 8.4-Anclaje del basculante

8.3 Jaula

Finalmente nos decidimos por no utilizar una jaula para sujetar el motor, en vez de esto utilizaremos unos tirantes. La razón es que la jaula no aportaba rigidez al conjunto y aumentaba el peso. Además según los ensayos realizados los tirantes son suficientes para soportar las tensiones debidas al peso y a los momentos de reacción producidos en el motor.



Figura 8.5-Tirante para anclar el motor.

Lo que se busca en el diseño de este elemento es la sencillez de fabricación 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.

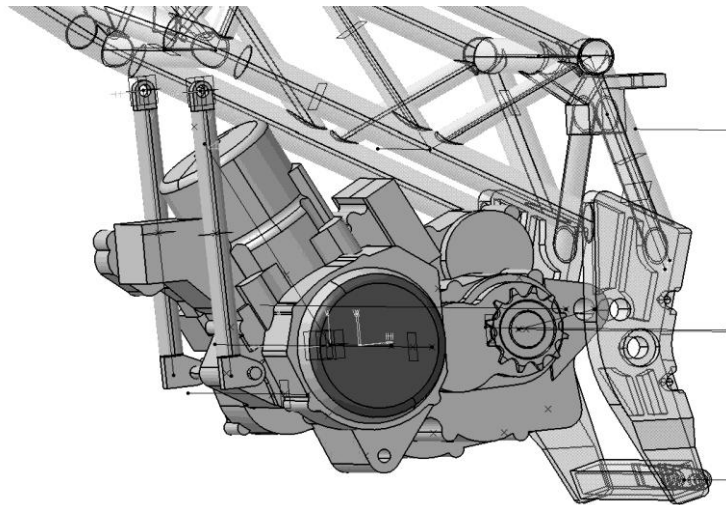


Figura 8.6-Motor anclado sobre el chasis.

8.4 Anclaje del tirante del amortiguador

La solución que hemos adoptado es la misma que la expuesta anteriormente pero en vez de utilizar un único tirante utilizaremos dos ya que las tensiones que se producen son elevadas.

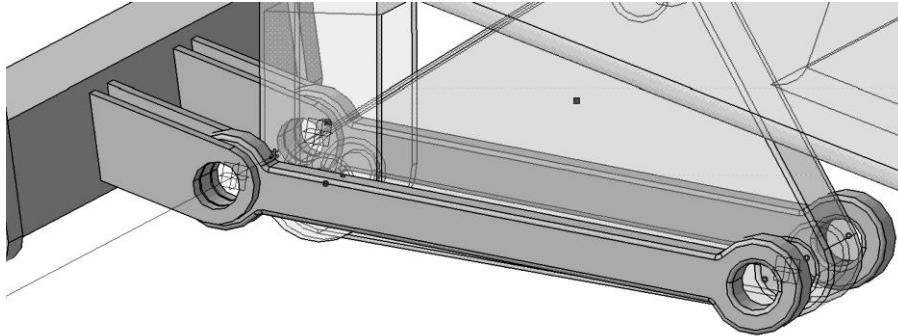


Figura 8.7-Tirantes del amortiguador trasero.

Los anclajes de los tirantes se soldaran sobre el rectángulo transversal que une los anclajes del basculante.

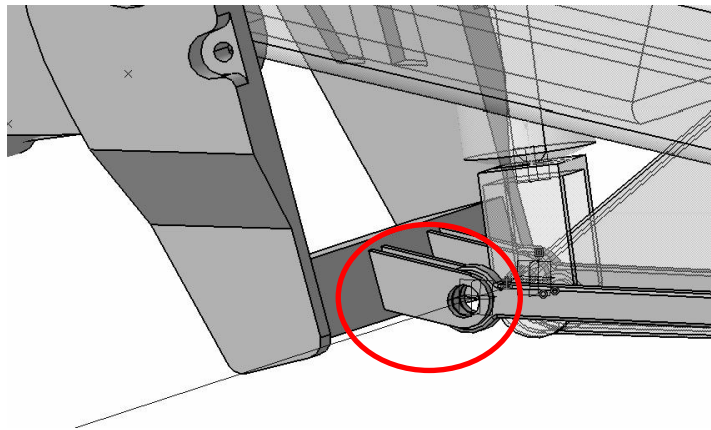


Figura 8.8-Anclaje de los tirantes del amortiguador.

8.5 Anclaje del amortiguador

Hemos tenido que realizar algunas modificaciones en la unión de las barras con dicho anclaje debido a las altas cargas a las que está sometido. Tras la realización de los ensayos mediante elementos finitos el diseño quedo de la siguiente manera.

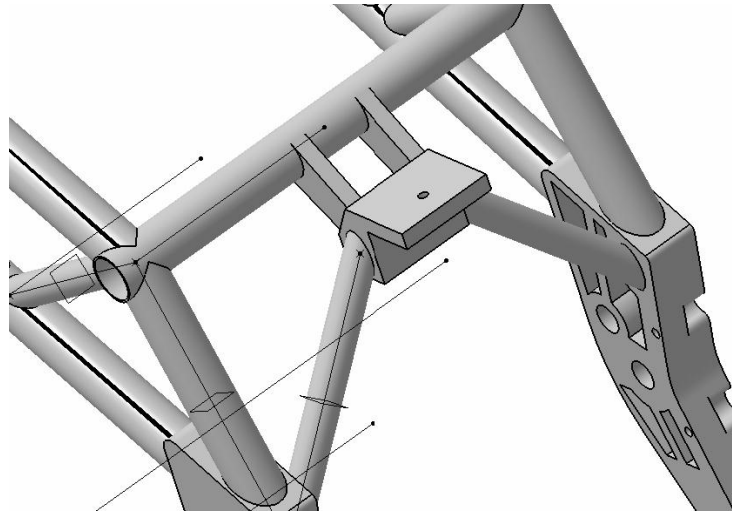


Figura 8.9-Anclaje del amortiguador.

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

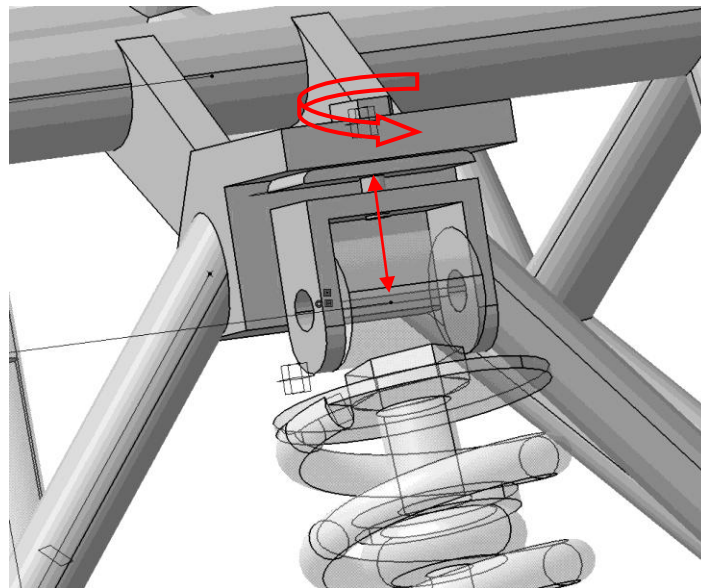


Figura 8.10-Mecanismo de anclaje del amortiguador trasero.

8.6 Anclajes auxiliares

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 pieza mecanizada 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.

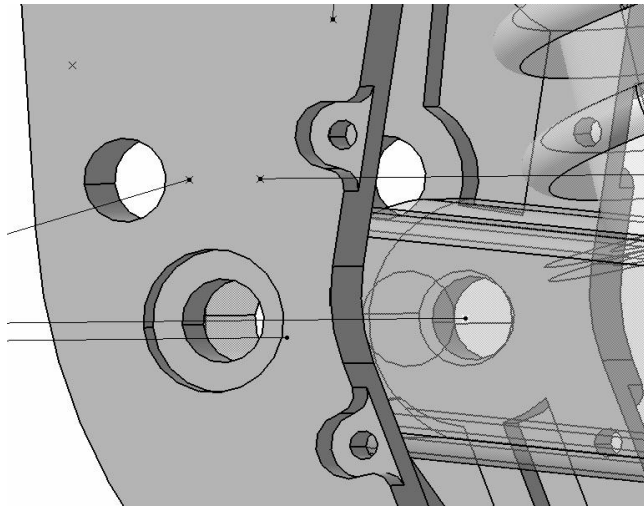


Figura 8.11-Anclajes de las estriberas.

El anclaje del subchasis se realizará de la misma forma que se anclan los tirantes al chasis. Su posición dentro del chasis quedará definida una vez se haya realizado su diseño.

8.7 Moto ensamblada

Ahora vamos a mostrar unas imágenes de cómo quedaría la motocicleta ensamblada.

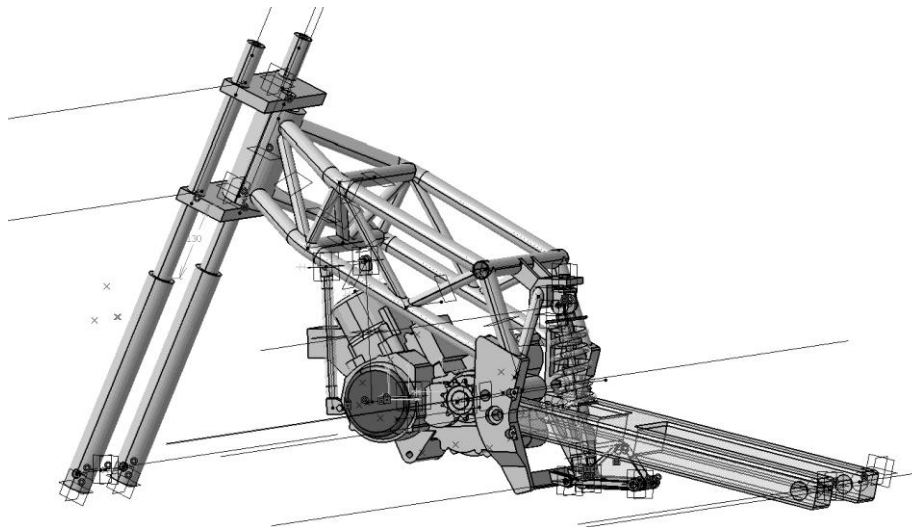


Figura 8.12-Motocicleta ensamblada.

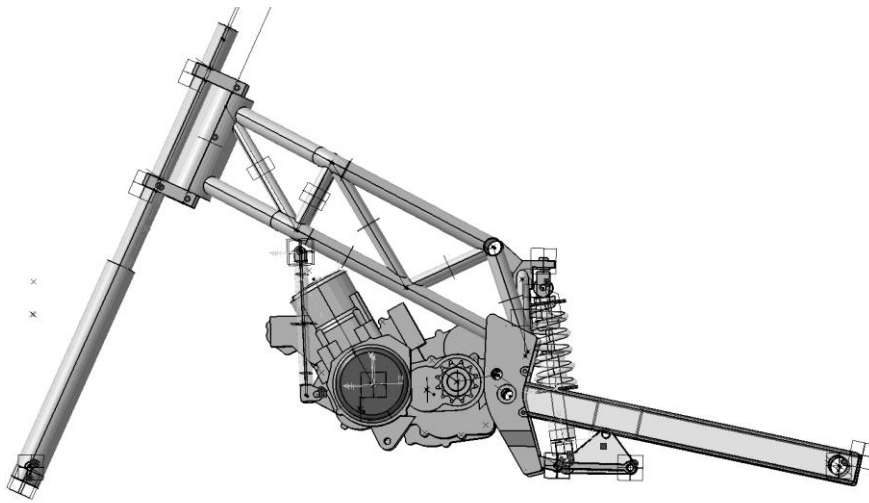


Figura 8.13-Vista lateral de la motocicleta.

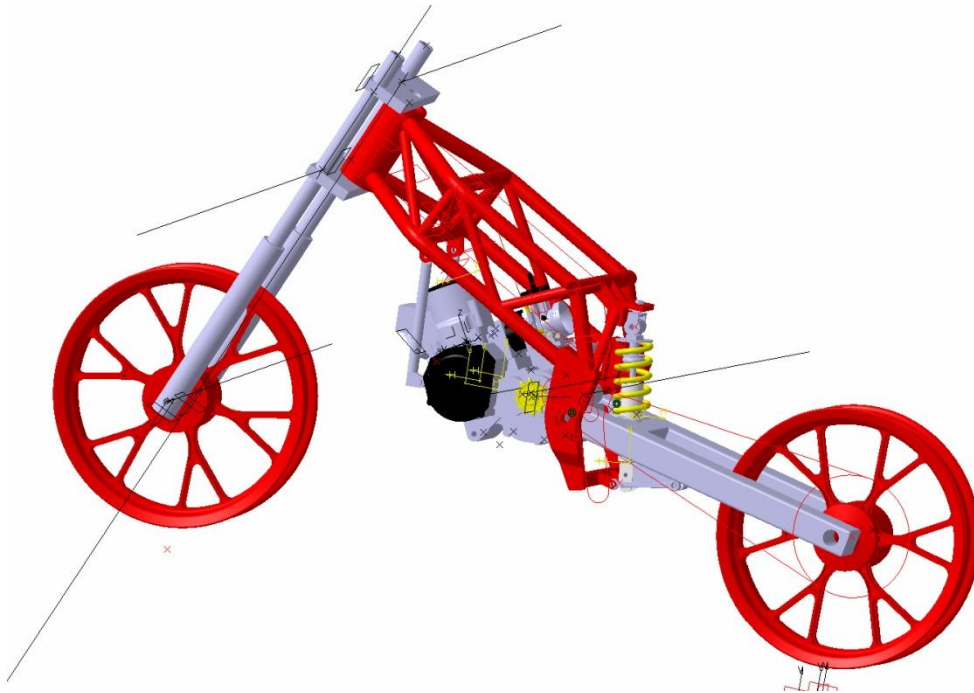


Figura 8.14-Motocicleta ensamblada

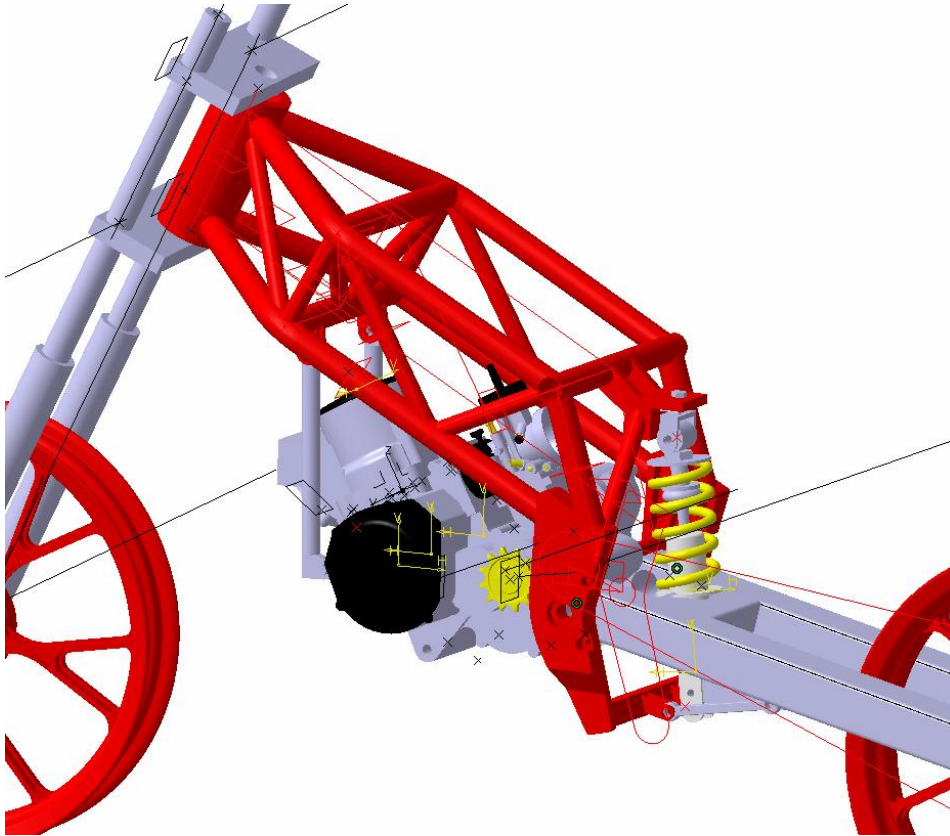


Figura 8.15-Chasis

9 Conclusión

El objetivo para el que se ha elaborado este proyecto se encuentra centrado en el diseño del chasis que proporcione las óptimas prestaciones a una motocicleta de dos tiempos de 125cc, en vistas a la participación en la competición Motostudent. Así, a lo largo del proyecto se han desarrollado los distintos pasos para ir definiendo la geometría del chasis, hasta llegar a los diseños definitivos.

Para la realización de estos diseños han sido necesarios estudios preliminares, especialmente importantes los realizados acerca de la geometría óptima que nos aporte el mejor comportamiento en carrera. Además de la búsqueda de la solución que mejor se adaptaba a nuestras necesidades.

Otra de las tareas imprescindibles para el desarrollo del proyecto ha sido la búsqueda y estudio de los diferentes programas, sin los cuales no hubiera sido posible la realización del proyecto. Con ello, se ha conseguido el dominio de varios programas muy interesantes, 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 estudio mediante elementos finitos de las diferentes estructuras. Para llegar a optimizar el chasis hemos realizado diferentes ensayos comparativos buscando siempre maximizar aquellas propiedades que considerábamos importantes. Primero realizamos un ensayo comparativo buscando optimizar la geometría en función de la rigidez en diferentes ensayos. Posteriormente introducimos una nueva variable, el peso, buscando de esta forma el diseño que mejor se ajustase al ratio rigidez peso. Por último un análisis detallado de elementos finitos nos permitió estudiar aquellas zonas donde aparecían concentradores de tensiones. Este último ensayo fue clave a la hora de la elección del material que utilizaremos para la fabricación del chasis.

Este proyecto no acaba aquí, ya que ahora pasaremos a la fabricación del primer prototipo del chasis. Lo realmente interesante será comprobar cuáles son sus valores reales de rigidez una vez se encuentre soldado para así poder tener una relación real entre los valores teóricos y los reales. No menos importante será la opinión del piloto sobre la rigidez del conjunto. Toda esta información nos permitirá ir optimizando los diferentes parámetros de forma que el chasis irá evolucionando hasta llegar al óptimo.

Con todo ello se puede concluir que se trata de un proyecto tremendamente enriquecedor, que no acaba aquí, sino que pretende continuar hasta el diseño final del chasis de la moto para participar en la competición de Motostudent.

10 Bibliografía

- Optimización de parámetros principales y cálculo de cargas de una motocicleta de competición – Ibai Irigoien
- Diseño y calculo estructural del basculante y diseño del sistema de suspensión trasera de una motocicleta de competición – Ignacio Arenaza
- 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
- Motorcycle Road&Racing Chassis – Keith Noakes
- REGLAMENTO TÉCNICO. MotoStudent.
- Ducati chassis design: Simulation and experimental testing – Simone Di Piazza
- INGENIERÍA DE MOTOCICLETAS. Cesar Diaz de Cerio y José Sancho. Apuntes formativos.
- REGLAMENTO FUNCIONAL. MotoStudent.
- www.bottpower.com
- www.wikipedia.com
- www.google.com
- www.moto22.com
- www.catiav5.com



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación :

INGENIERO INDUSTRIAL

Título del proyecto:

DISEÑO Y CÁLCULO ESTRUCTURAL DEL CHASIS DE
UNA MOTOCICLETA DE COMPETICIÓN

ANEXOS

Ernesto Limousin Aranzabal

César Díaz de Cerio García

Pamplona, 10 de Marzo de 2010

ANEXO I

ANEXO II

ANEXO III

ANEXO IV

ANEXO V

ANEXO VI

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. Mentor 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. Presentación del proyecto industrial.....	11
A.2.3. Jurados	11
A.2.4. Premios.....	11
A.3. Fase MS2.....	11
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 cm³, 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.

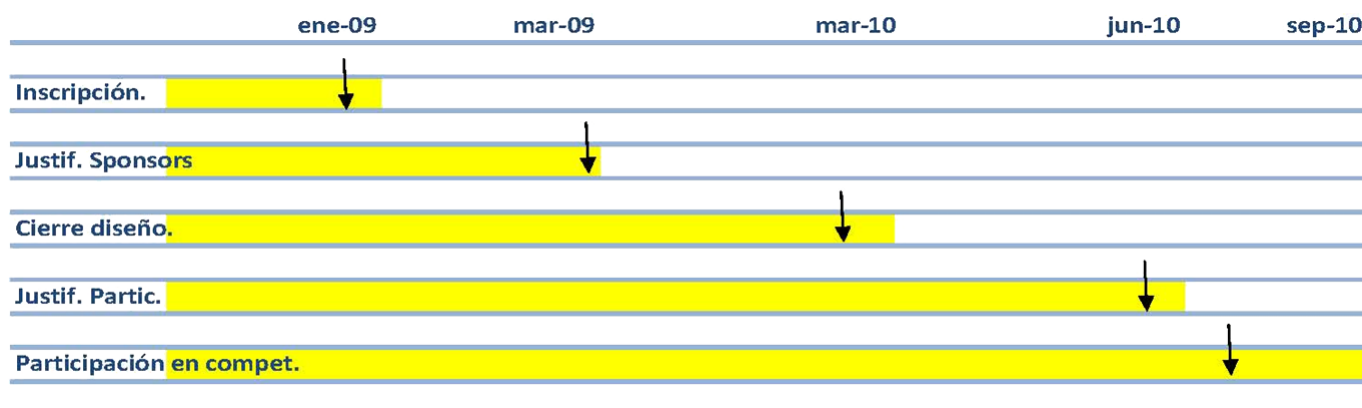
Niveles a superar por los equipos participantes:

	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 la moto prototipo con las mínimas diferencias exigidas por el proceso de fabricación en la serie.

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
3º	85
4º	80

Posición	Puntos
5º	76
6º	72
7º	68
8º	64

Posición	Puntos
9º	60
10º	57
11º	54
12º	51

Posición	Puntos
13º	48
14º	45
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 en cualquier situación de compresión de suspensiones y reglajes de geometrías. (Figura 2)
- ✓ 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 de manillares o semimanillares contruados en aleación ligera.

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 consideren 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

La quilla deberá ser diseñada de modo que en caso de rotura del motor pueda albergar el 50% de la cantidad total de aceite del motor con un mínimo de 5 litros. La quilla deberá tener dos agujeros de descarga que en condiciones de seco estarán tapados y solo en condiciones de mojado podrán mantenerse abiertos.

Todos los sobraderos de la motocicleta deberán redirigirse a un depósito de un mínimo de 250 cm³ 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 cm³ 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 incontinente interno de seguridad. En el caso de los depósitos no metálicos es obligatorio el uso de este continente de goma o resina. El fin de la vejiga de seguridad no es otro que impedir el derrame de carburante en caso de rotura del depósito.

Esta 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 récord el que se desconecte y no otras uniones del conducto. Por tanto, para la apertura del récord 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.

17. FIGURAS

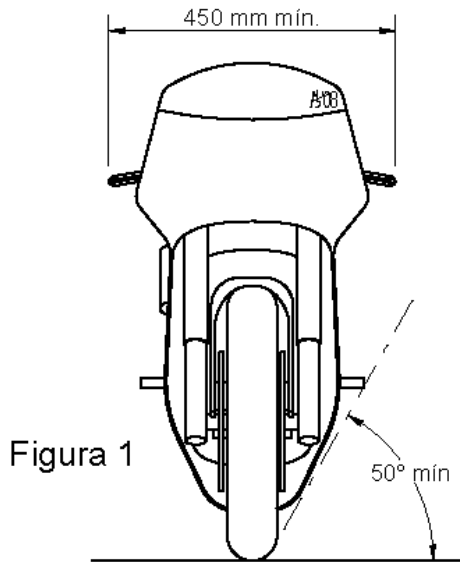


Figura 1

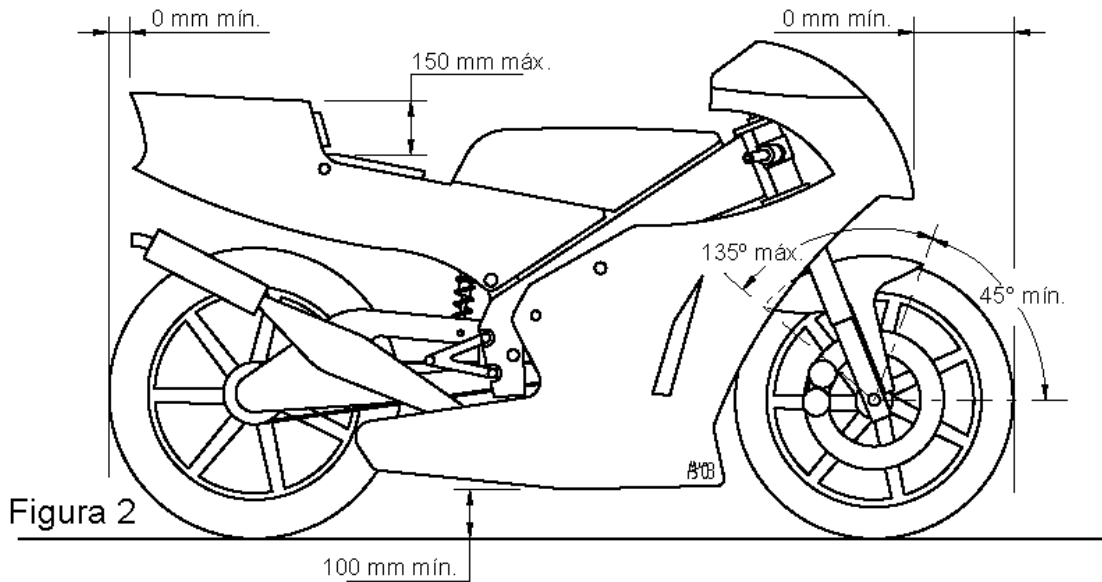


Figura 2

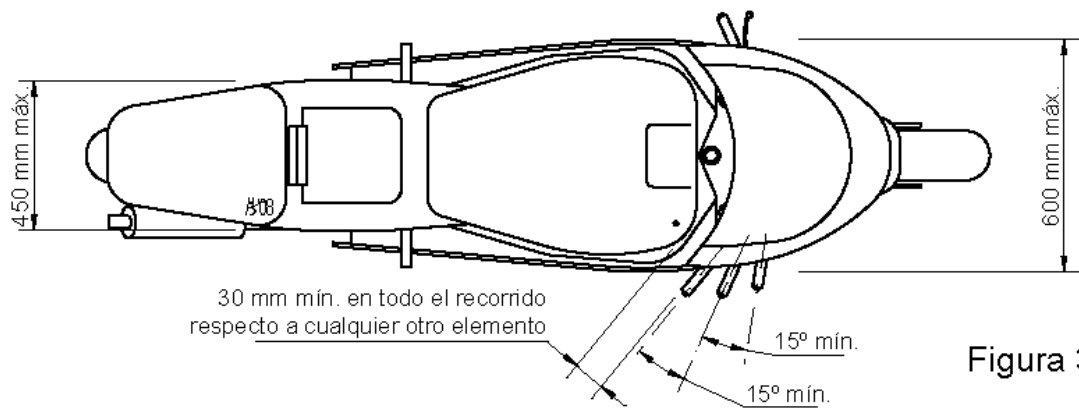


Figura 3

ANEXO III

DATOS DE LOS ENSAYOS DE RIGIDEZ

Ensayos de Rigidez

Chasis 1

	Valores de rigidez	Chasis1(sub)	Chasis2(sub)	Chasis3	Chasis4	Chasis5	Chasis6	Chasis7
Frenada	Kt (Nmm/º)	4353556.1	2665436	6085620	5597572	4747608	5760958	4747279
Torsión	Ktf (Nmm/º)	3442905.5	3146090	3772557	3848763	4537060	2932058	4504231
Flexión	Kf (N/mm)	2608.242	2018.795	2512.361	2803.445	3418.348	2745.918	3402.472
% de dif. Frenada			-38.77567	128.3162	110.0059	9.051275	32.32764	9.0437
% de dif. Torsión			-8.621075	19.91256	2.020013	31.77999	-14.8377	30.82645
% de dif. Flexión			-22.5994	24.44854	11.58608	31.05945	5.278478	30.45076

Chasis8	Chasis9	Chasis10	Chasis11	Chasis12	Chasis13	Chasis14
3750216.7	5414170	5291640	4684167	5269869	4947529	5494266
5500965.1	5712430	5257113	5677269	5875742	4726616	6647632
3138.3576	2322.211	2126.501	3422.349	2585.67	2198.421	2570.912
-13.85854	24.36202	21.54754	7.594042	21.04746	13.6434	26.2018
59.776825	65.91888	52.69408	64.89763	70.66232	37.28567	93.08203
20.324632	-10.9664	-18.4699	31.21285	-0.86542	-15.7126	-1.43123

Chasis 2

Chasis_2(1)	Chasis_2(2)	Chasis_2(3)	Chasis_2(4)	Chasis_2(5)	Chasis_2(6)	Chasis_2(7)	Chasis_2(8)
-3192809.7	-3257962.0	-3256475.1	-3257962.0	-3256521.7	-3249046.8	-4017400.9	-4024305.6
1514883.38	2065327.07	1863545.73	2058614.18	1863319.61	1612463.41	1809771.98	2432947.01
-1246.9434	-2769.1856	-1471.2914	-2768.1047	-1470.5168	-1484.6222	-1468.4053	-2792.7582

Chasis 3

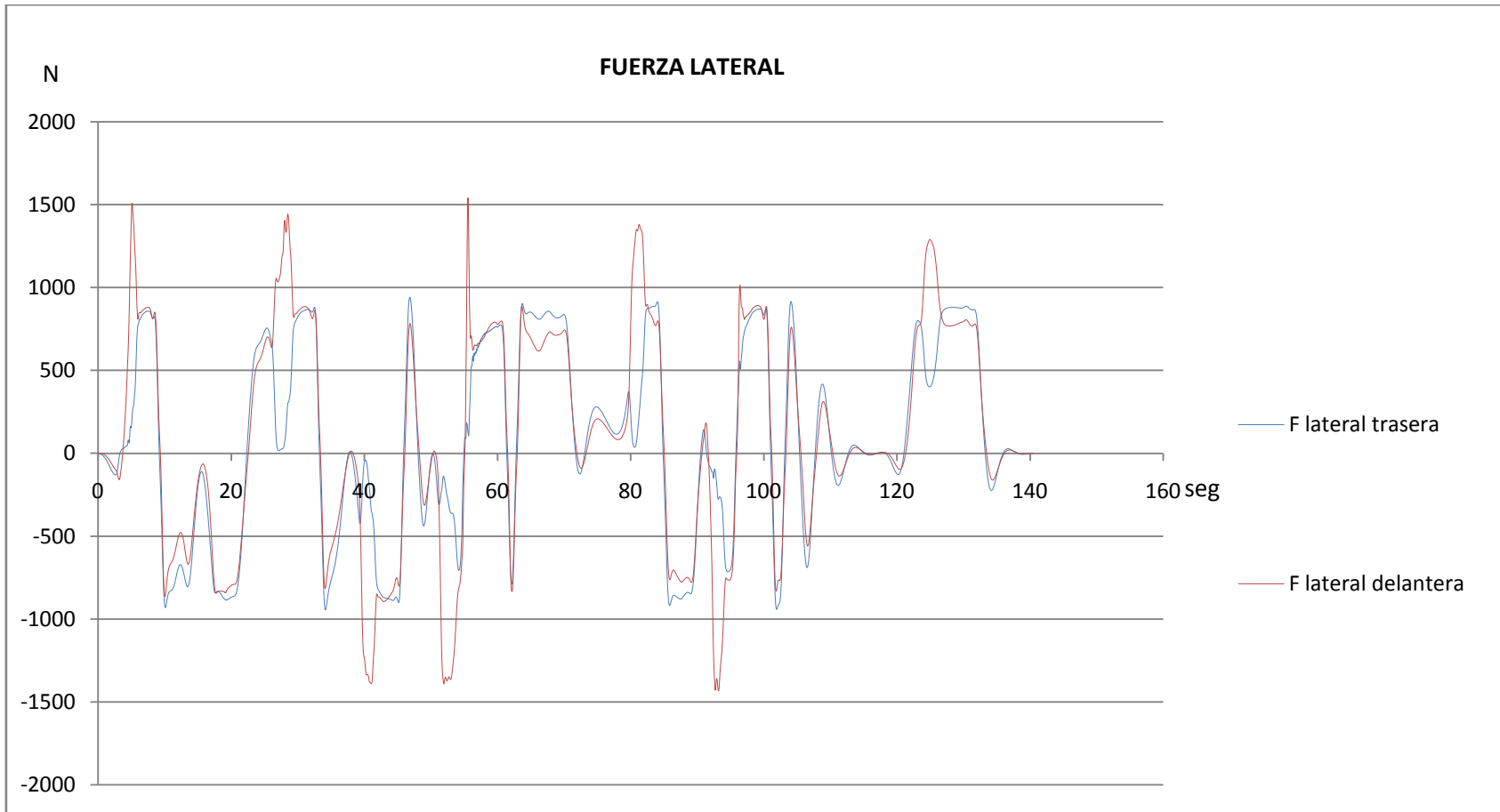
Chasis_3(1)	Chasis_3(2)	Chasis_3(3)	Chasis_3(4)	Chasis_3(5)	Chasis_3(6)	Chasis_3(7)	Chasis_3(8)
-3361028.5	-3487500.0	-3110700.9	-3297639.7	-3361137.5	-3363046.5	-3363977.0	-2545667.1
-1878718.8	-1477719.5	-2192748.3	-1323845.9	-1946756.2	-2747260.2	-2857643.8	-2701648.6
-1771.8966	1602.32465	1699.35085	1396.91338	2077.07614	2104.91308	2500.33755	1746.39849

ANEXO IV

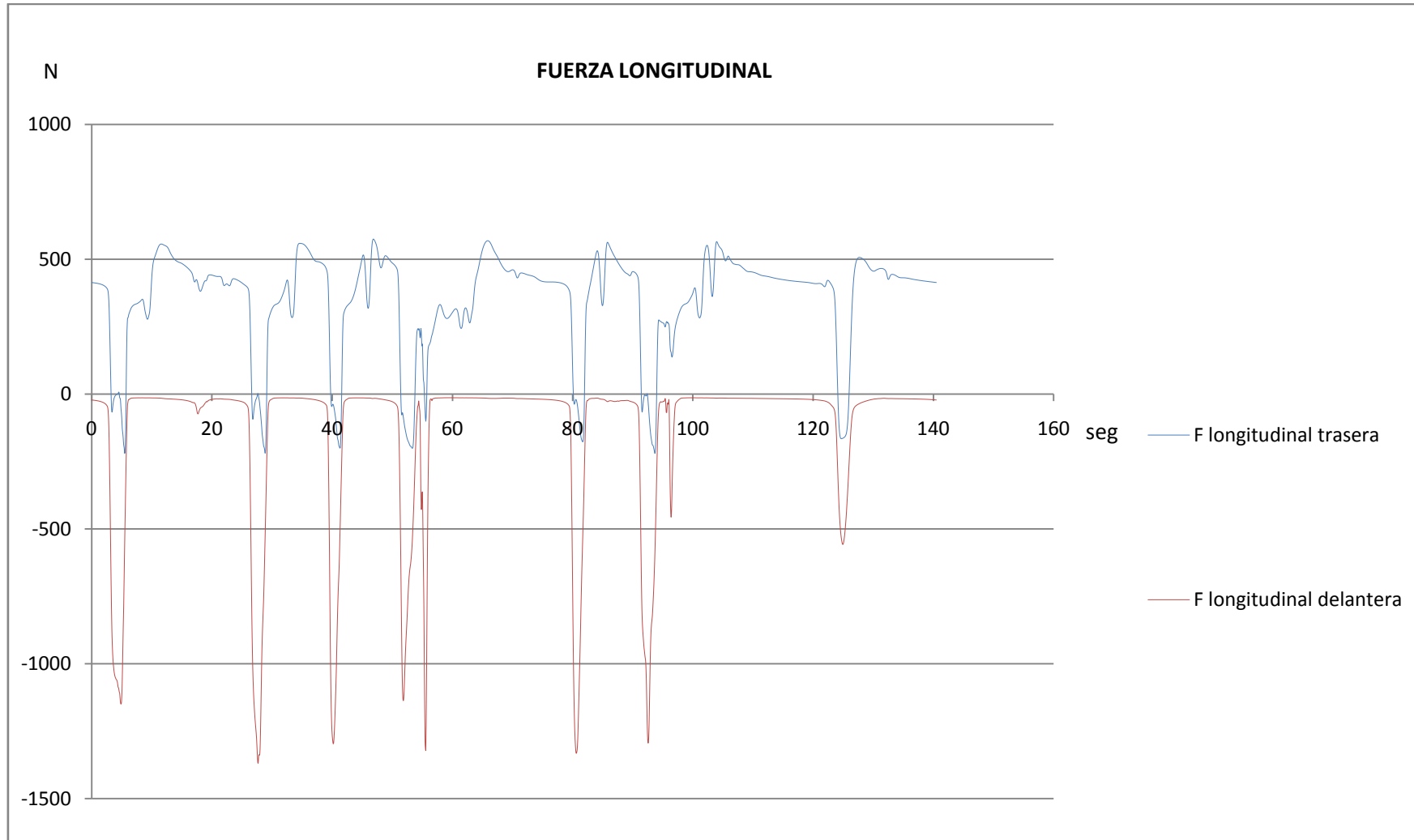
FUERZAS XOptima

FUERZAS XOptima

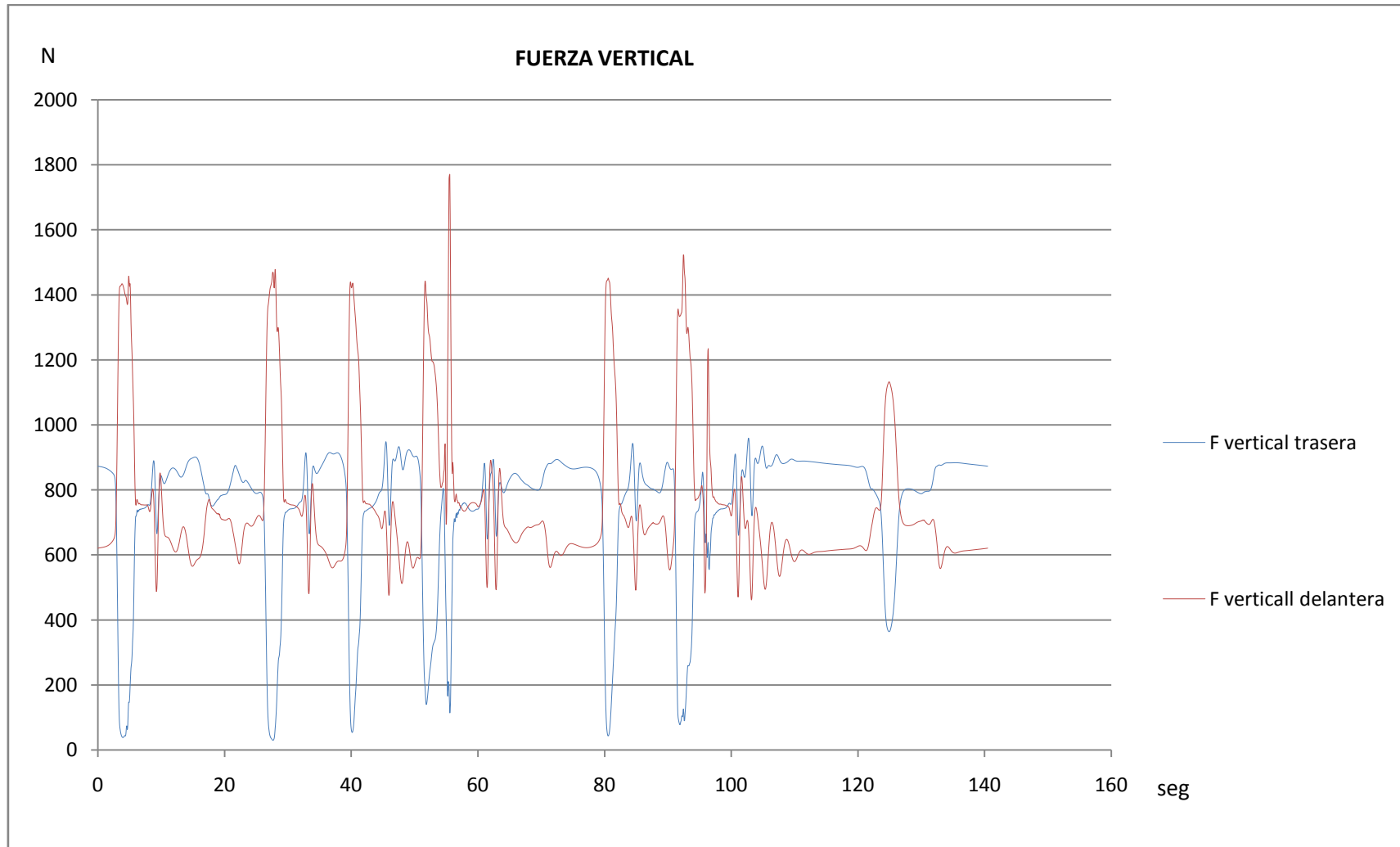
Fuerza lateral:



Fuerza longitudinal:



Fuerza vertical:



ANEXO V

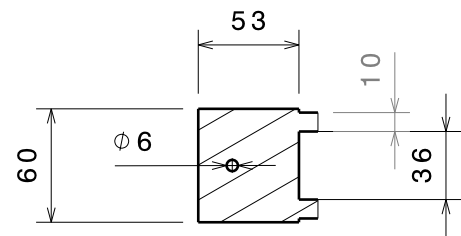
DATOS DE MATERIALES

		Reynolds										
Parámetro Tipo acero	Acero 355	Maraging stainless steel(953)	Air-hardening steel		Chrome-Moly steel		531	753	T45	4130	25CrMo4	15 CDV 6
			631	853	525	725						
Tensión de rotura mínima (MPa)	470	1650	800	1250	750	1050	772	1080-1280	700	655	650	980
Límite elástico mínimo (MPa)	355	1450	650	1000	600	800	694	900	620	517	520	790
Rango de diámetros de tubo (mm)	Todos	[16-41,3]	[22,2-41,3]	[22,2-41,3]	[19-41,3]	[19-41,3]	Reynolds ya no lo suministra	Muy restringidos pero sin especificar	Sin especificar	Sin especificar	Sin especificar	Sin especificar
Rango de espesores de tubo (mm)	Todos	[0,3-0,7]	[0,5-1,7]	[0,5-1,7]	[0,5-1,2]	[0,5-1,2]						
% Elongación mínima	17%	8%	10%	8%	10%	8%	10%	8%	Sin especificar	12%	13%	10%
Precio (respecto al 631)	0,85 €/kilo	3X	X	1,5X	No disponible ya	X	Sin datos	No disponible ya	Sin datos	Sin datos	Sin datos pero muy caro	Sin datos
Soldabilidad	Optima	Inviabile	Muy buena	Buena	Regular	Regular	Difícil	Difícil	Buena	Regular	Buena	Mala

ANEXO VI

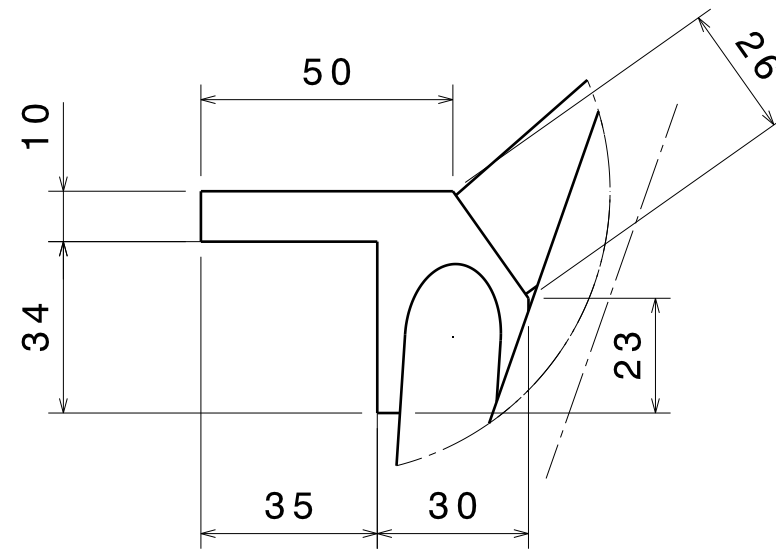
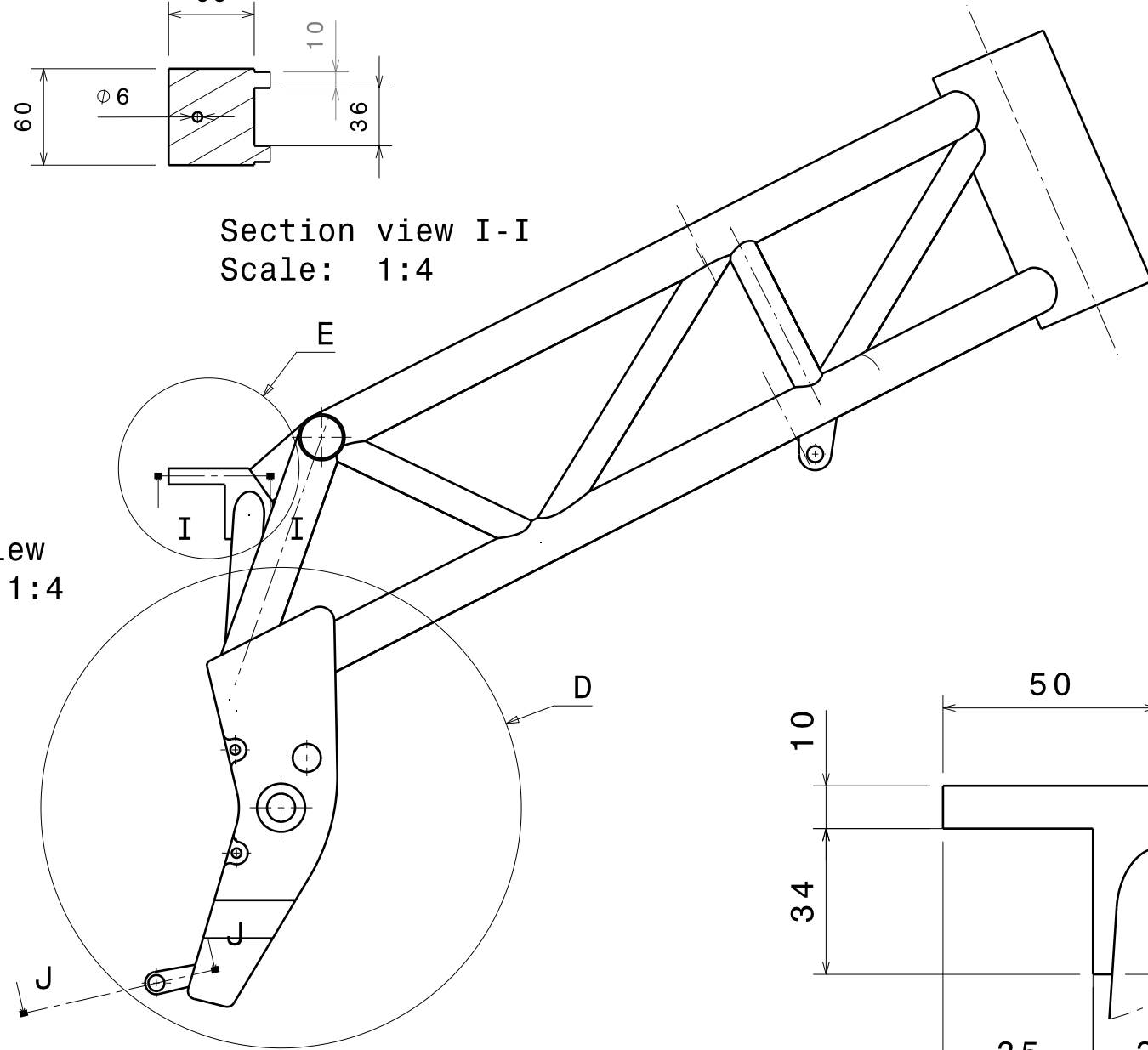
PLANOS

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

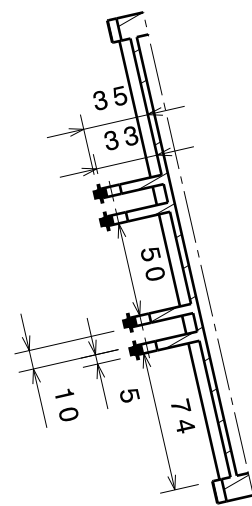


Section view I-I
Scale: 1:4

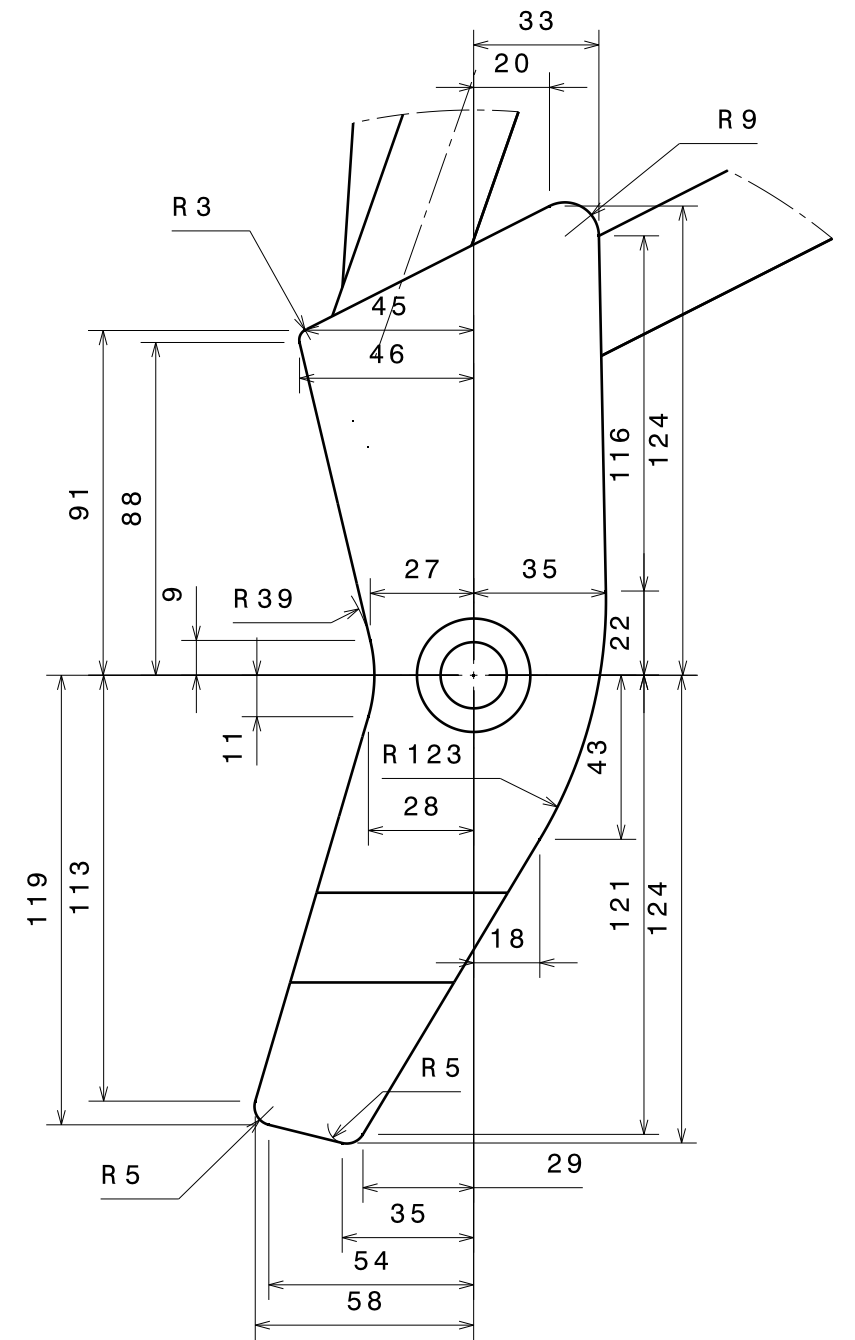
Front view
Scale: 1:4



Detail E
Scale: 2:3

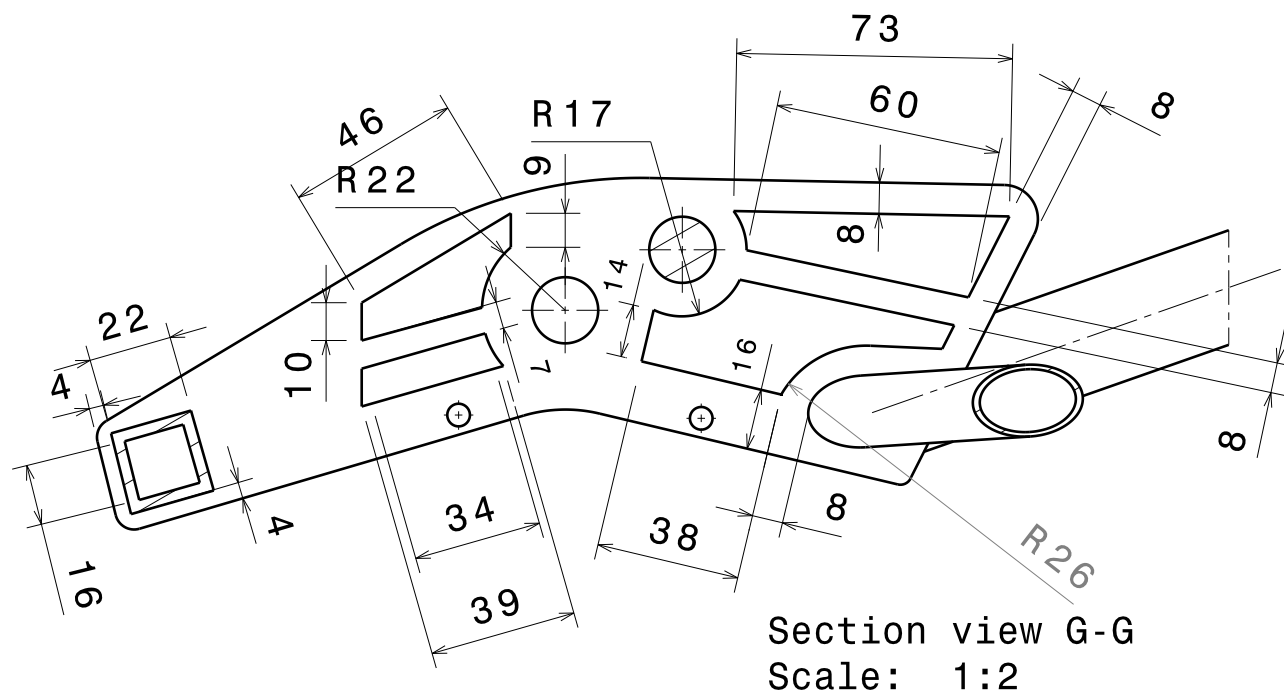
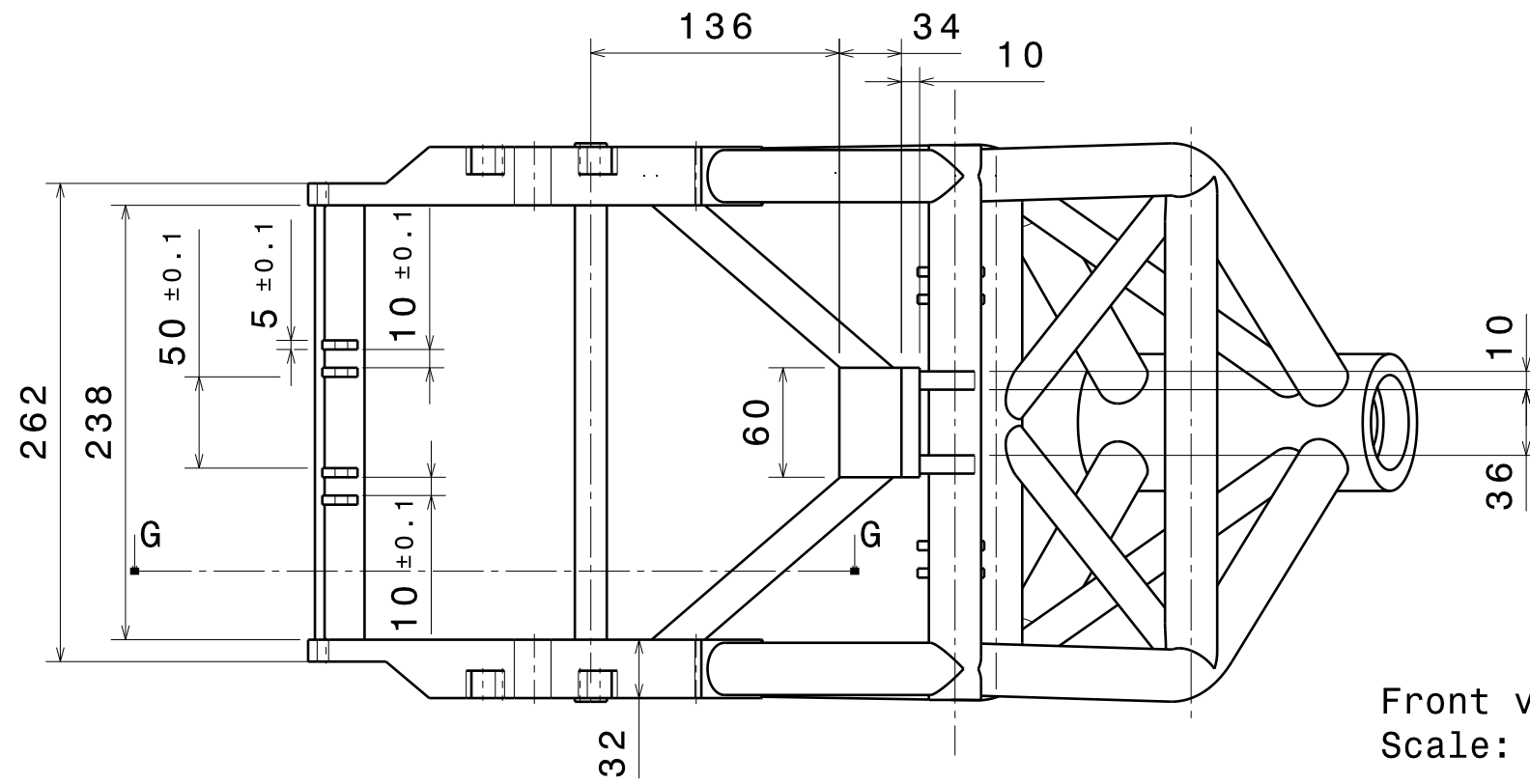


Section view J-J
Scale: 1:4



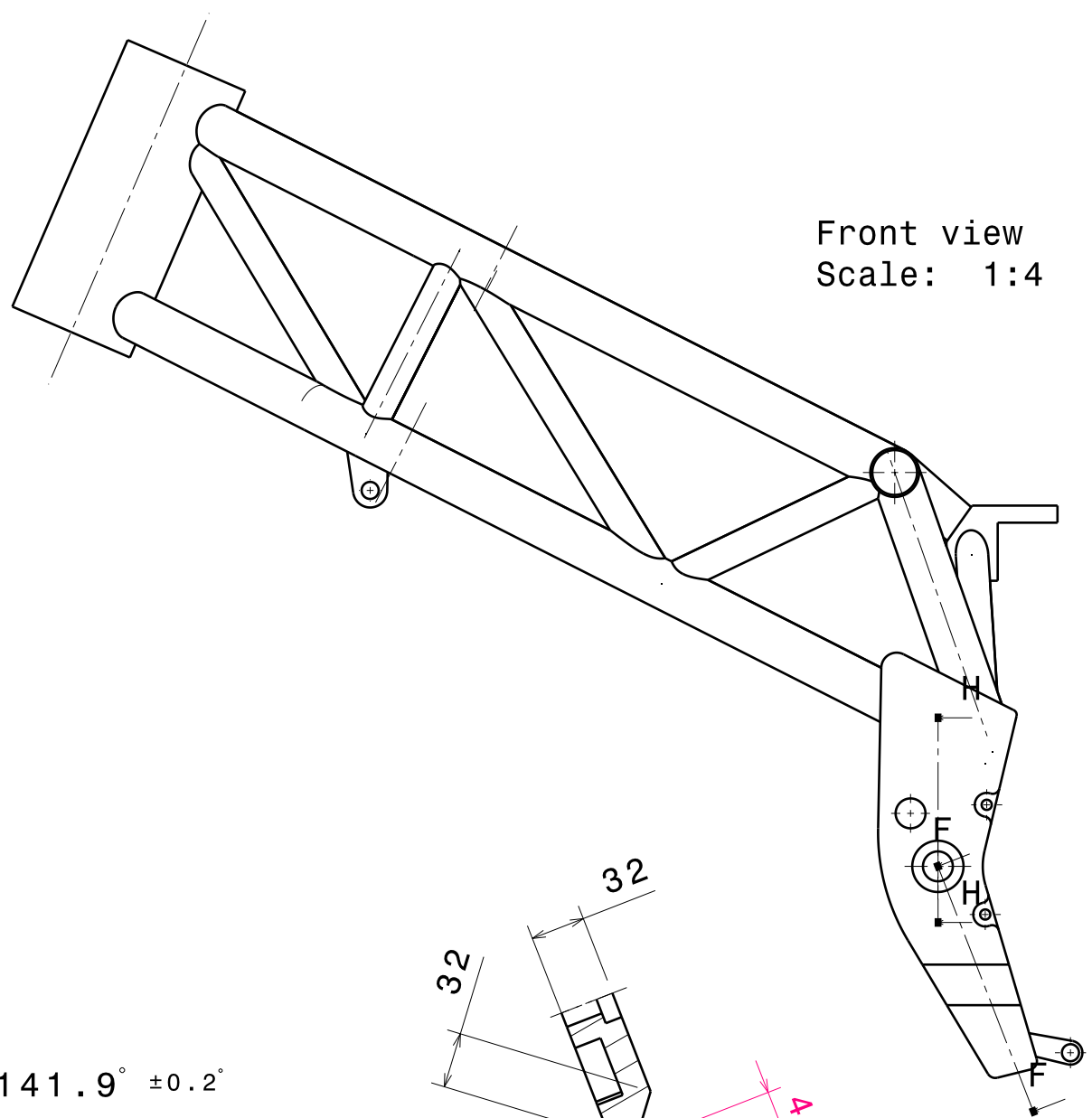
Detail D
Scale: 1:2

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

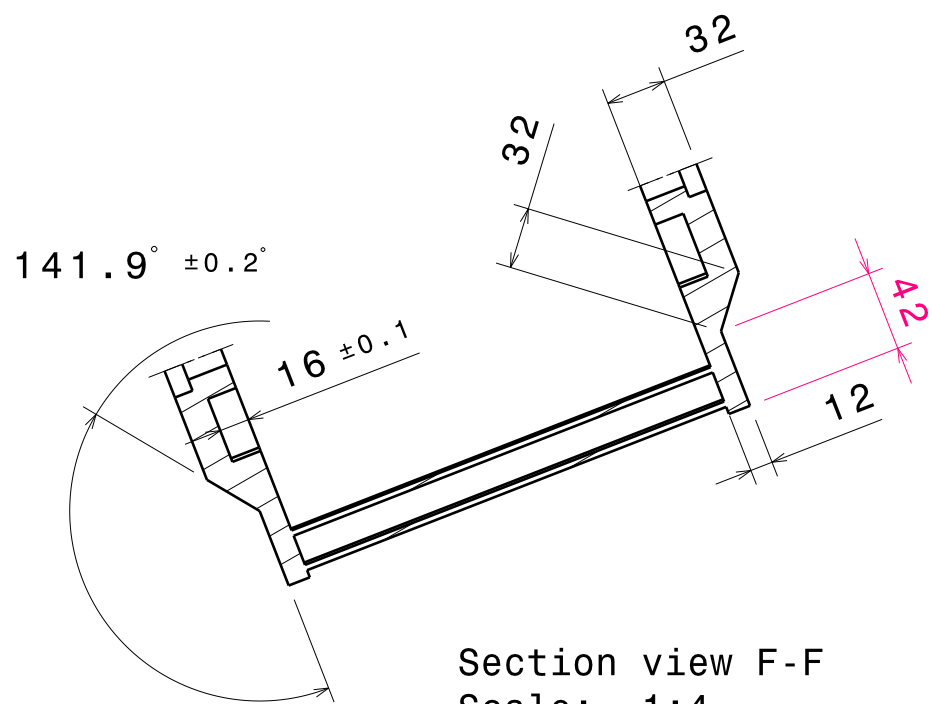


	E.T.S.I.I.T	DEPARTAMENTO	
	INGENIERO INDUSTRIAL	DEPARTAMENTO ING. MECÁNICA, ENERGÉTICA Y DE MATERIALES	
PROYECTO	DISEÑO Y CÁLCULO ESTRUCTURAL DEL CAHSIS DE UNA MOTOCICLETA DE COMPETICIÓN	LIMOUSIN ARANZABAL, ERNESTO	
PLANO	MECANIZADO 2	FIRMA	
		FECHA	ESCALA
		3/03/2010	1/4
		Nº PLANO	3

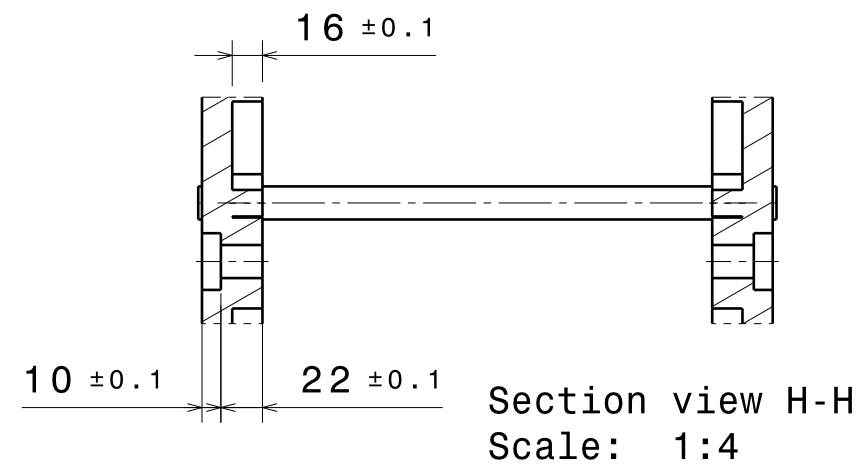
La tolerancia de las cotas sin especificar será de +1 y -1 mm.



Front view
Scale: 1:4



Section view F-F
Scale: 1:4

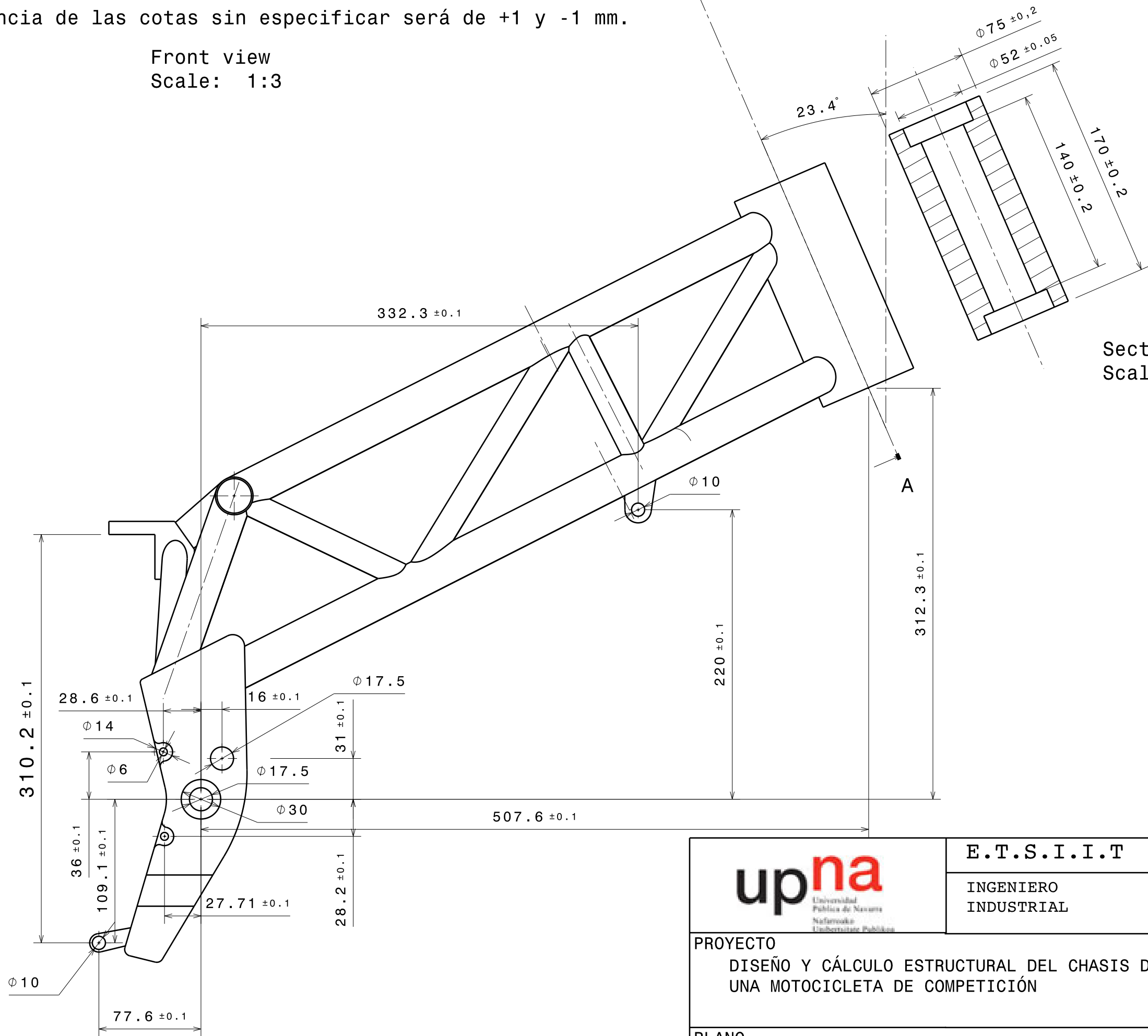


Section view H-H
Scale: 1:4

	E.T.S.I.I.T	DEPARTAMENTO	
	INGENIERO INDUSTRIAL	DEPARTAMENTO DE ING. MECÁNICA, ENERGÉTICA Y DE MATERIALES	
PROYECTO	DISEÑO Y CÁLCULO ESTRUCTURAL DEL CHASIS DE UNA MOTOCICLETA DE COMPETICIÓN	LIMOUSIN ARANZABAL, ERNESTO	
		FIRMA	
PLANO	MECANIZADO 3	FECHA	ESCALA
		3/03/2010	1/4
		Nº PLANO	
		4	

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

Front view
Scale: 1:3



Section view A-A
Scale: 1:3



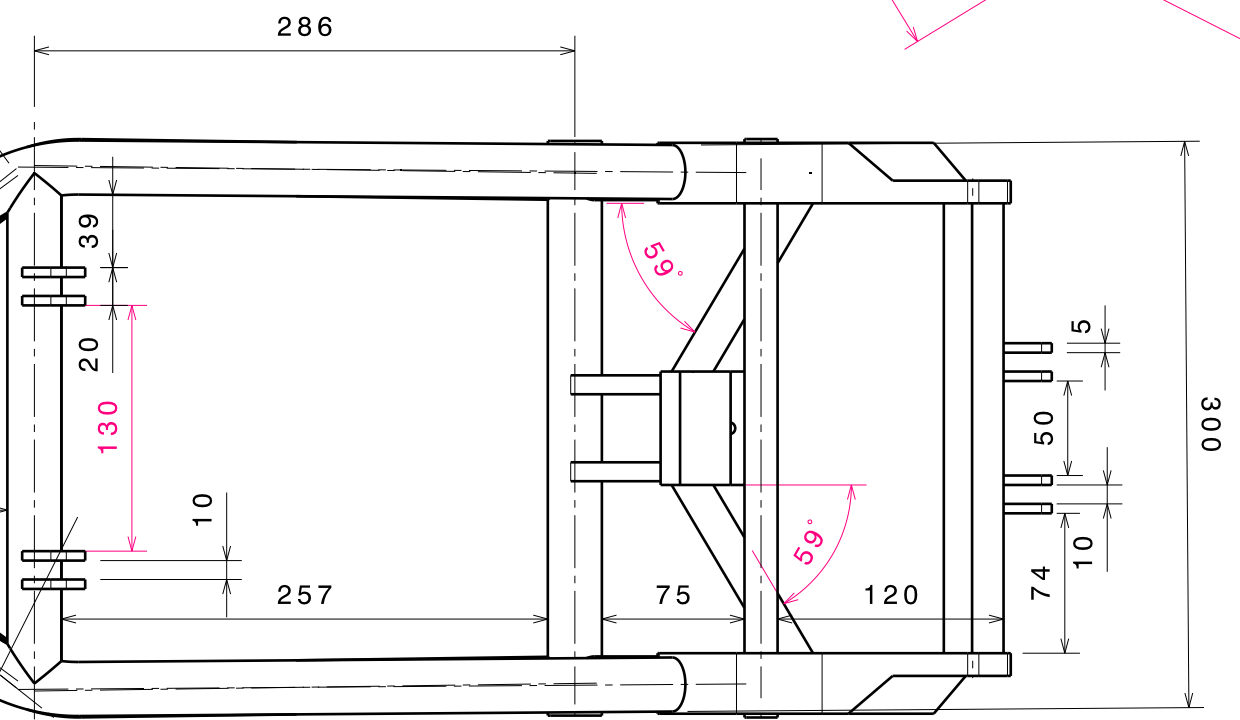
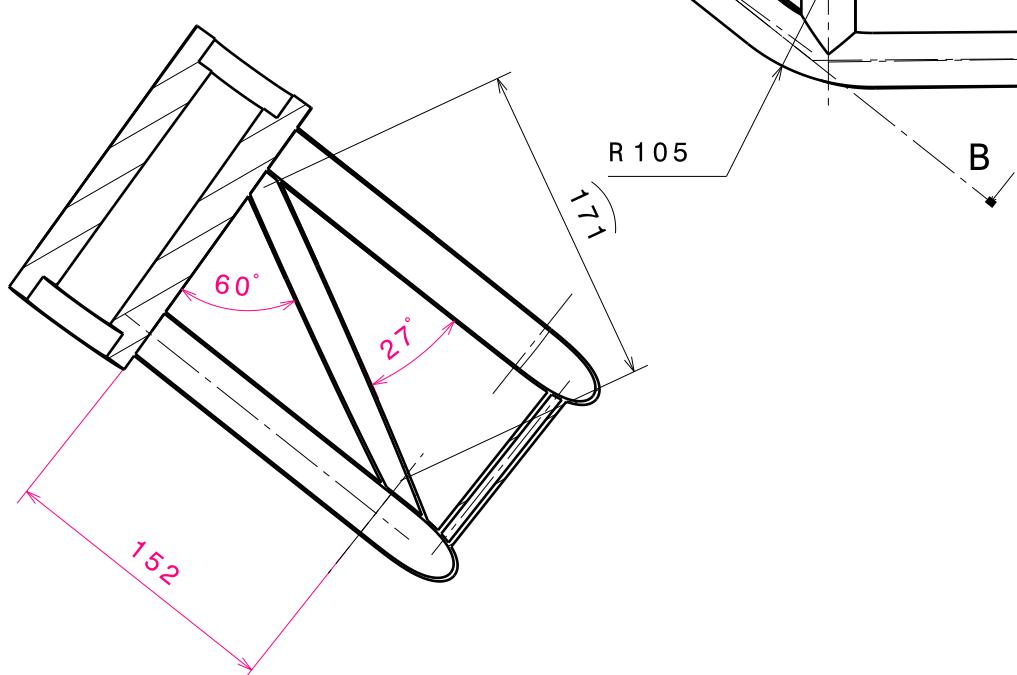
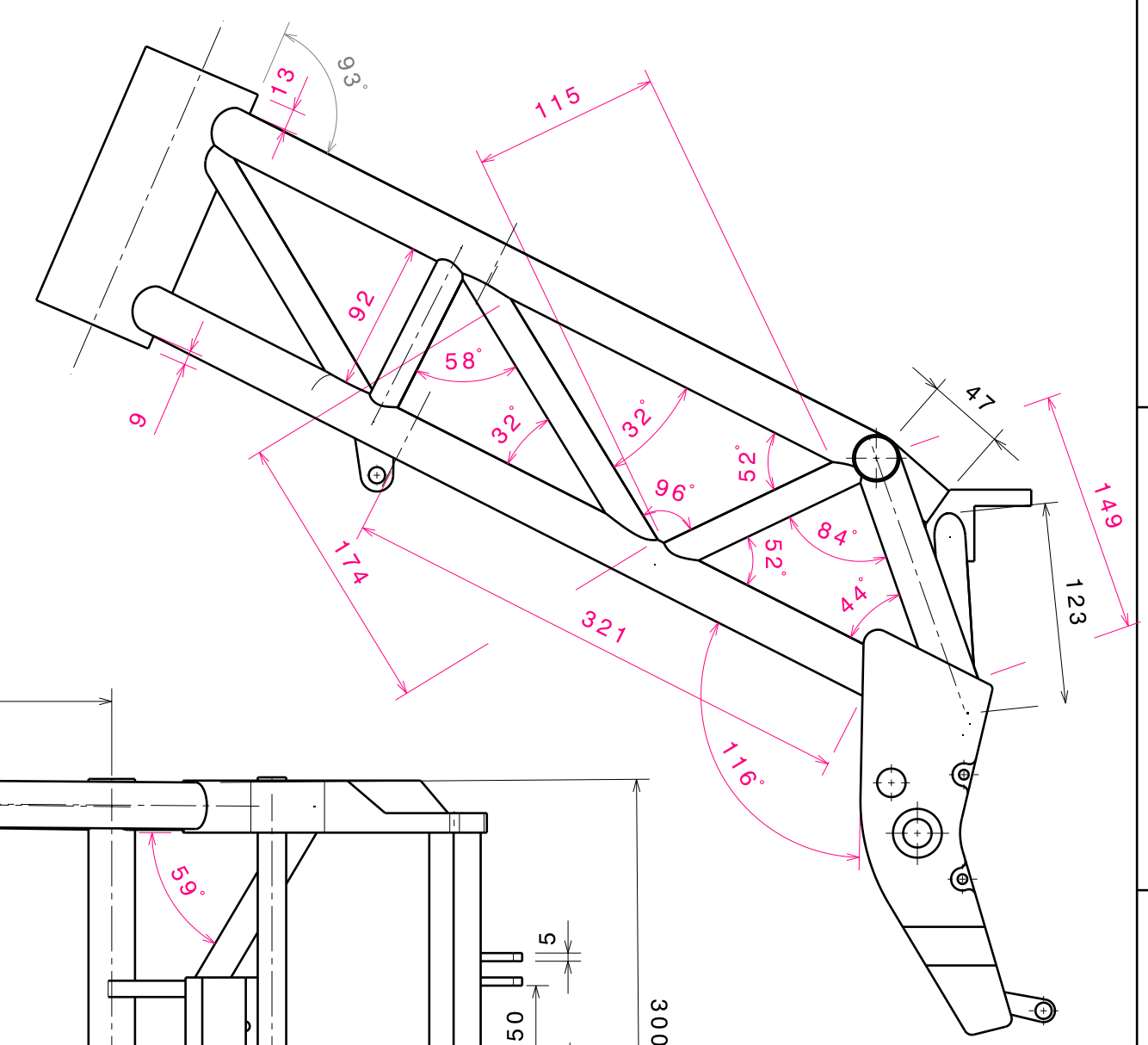
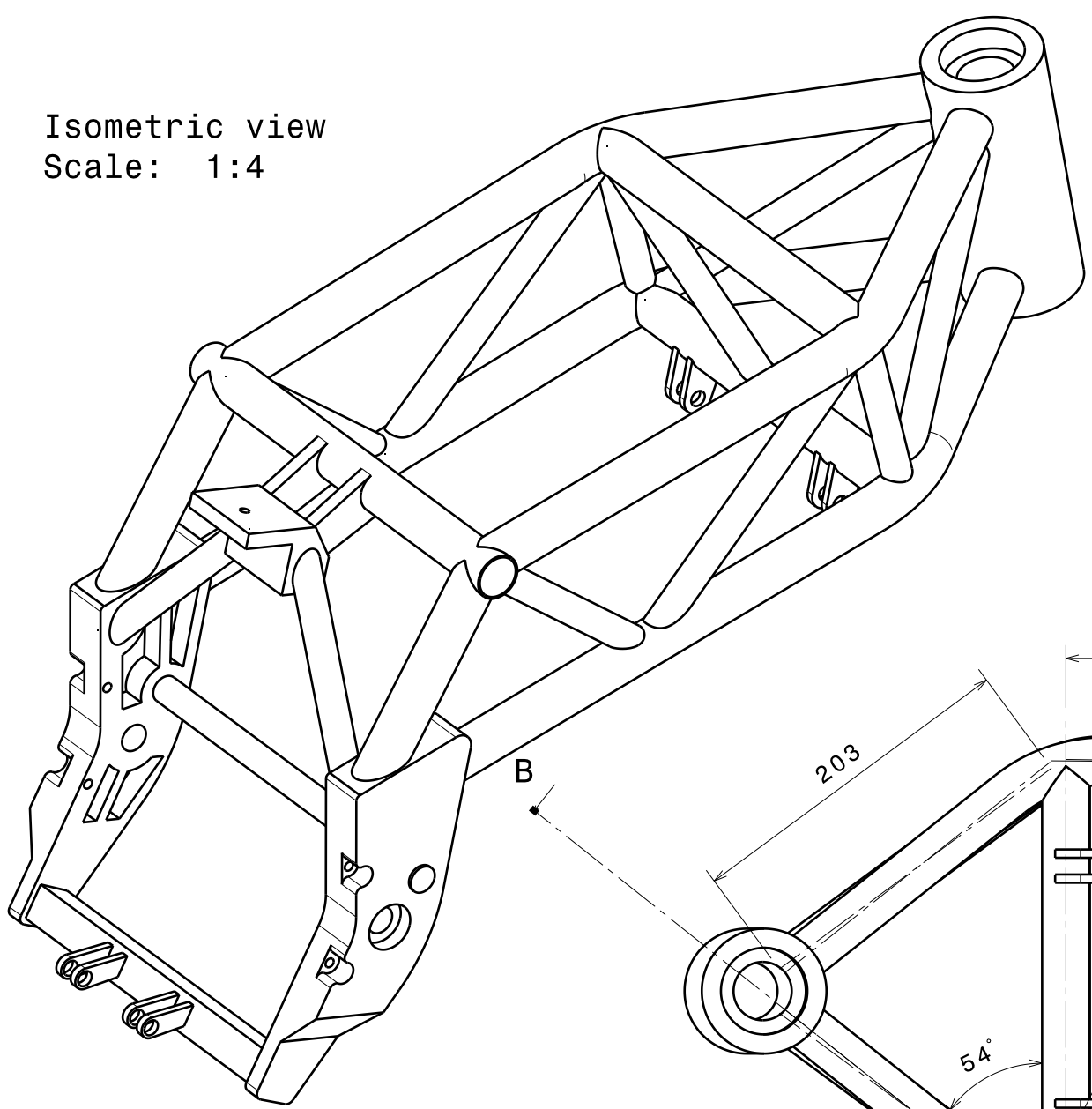
E.T.S.I.I.T	DEPARTAMENTO
INGENIERO INDUSTRIAL	DEPARTAMENTO DE ING. MECÁNICA ENERGÉTICA Y DE MATERIALES

PROYECTO
DISEÑO Y CÁLCULO ESTRUCTURAL DEL CHASIS DE UNA MOTOCICLETA DE COMPETICIÓN

LIMOUSIN ARANZABAL,
ERNESTO

PLANO
MECANIZADO FINAL

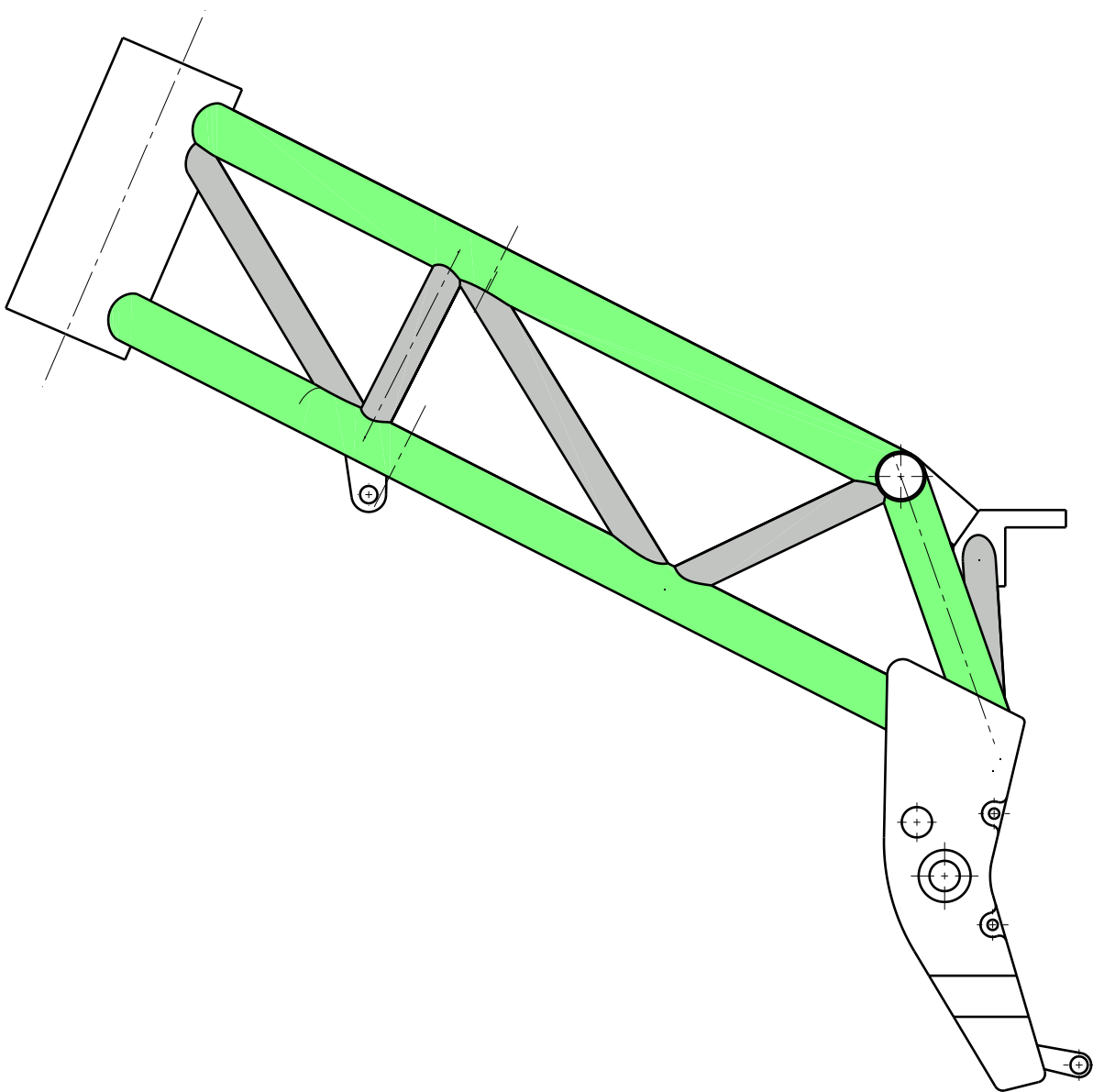
FIRMA	FECHA	ESCALA	Nº PLANO
	3/03/2010	1/3	1



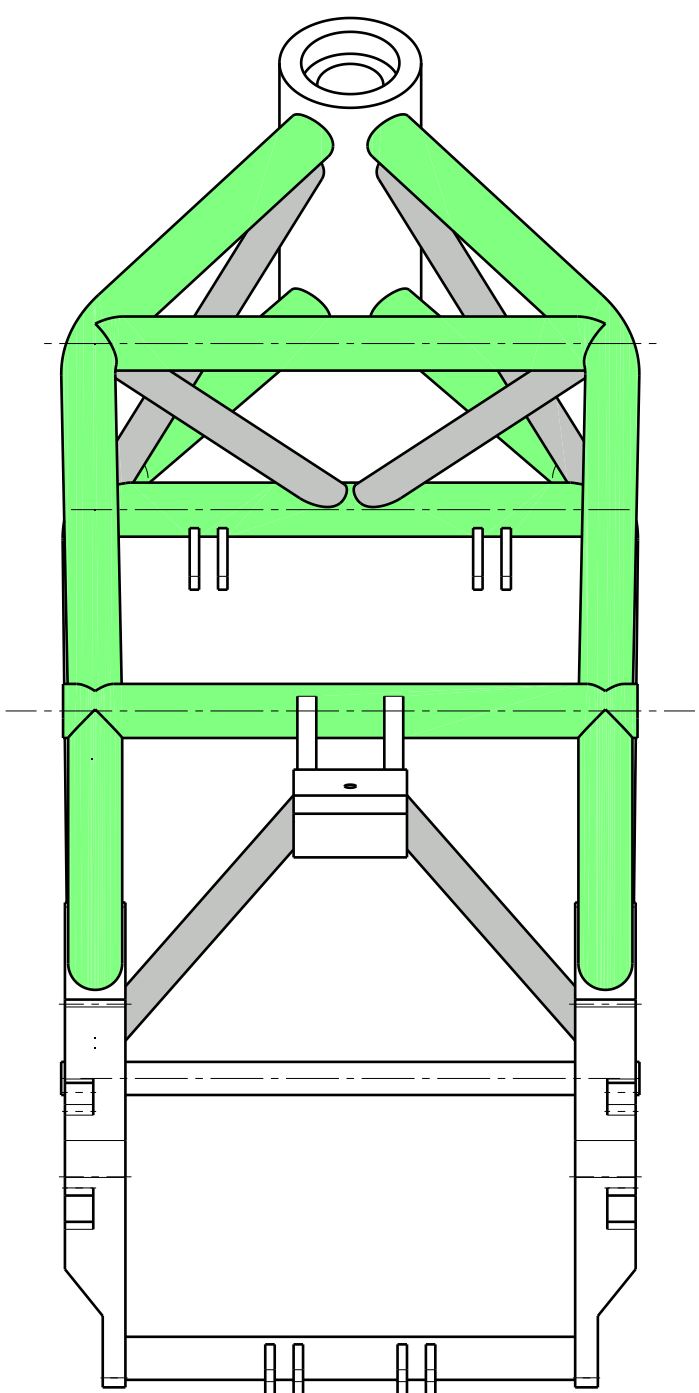
 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitatea Publikoa	E.T.S.I.I.T	DEPARTAMENTO	
	INGENIERO INDUSTRIAL	DEPARTAMENTO DE ING. MECÁNICA, ENERGÉTICA Y MATERIALES	
PROYECTO	DISEÑO Y CÁLCULO ESTRUCTURAL DEL CHASIS DE UNA MOTOCICLETA DE COMPETICIÓN		LIMOUSIN ARANZABAL, ERNESTO
PLANO	SOLDEO		FIRMA
	FECHA	ESCALA	Nº PLANO
	3/03/201	1/4	3

upna
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

H G F E D C B A



Front view
Scale: 1:4



Front view
Scale: 1:4

COLOR	Diametro exterior	Espesor
Verde	28,6 mm	1,2 mm
Gris	19 mm	1,2 mm

	E.T.S.I.I.T	DEPARTAMENTO	
	INGENIERO INDUSTRIAL	DEPARTAMENTO DE ING. MÉCANICA, ENERGÉTICA Y DE MATERIALES	
PROYECTO	DISEÑO Y CÁLCULO ESTRUCTURAL DEL CHASIS DE UNA MOTOCICLETA DE COMPETICIÓN		LIMOUSIN ARANZABAL, ERNESTO
			FIRMA
PLANO	DIAMETROS Y ESPESORES	FECHA	ESCALA
		3/03/2010	1/4
		Nº PLANO	6

H G F E D C B A