



Universidad  
Carlos III de Madrid

Departamento de Ingeniería Mecánica

Ingeniería Técnica Industrial Mecánica

PROYECTO FINAL DE CARRERA

# PRE-DISEÑO DE BASCULANTES Y SELECCIÓN PARA LA SUSPENSIÓN DE UNA MOTOCICLETA DE COMPETICIÓN

AUTOR: AARÓN COLLANTES GIL

TUTOR: HIGINIO RUBIO ALONSO

LEGANÉS

OCTUBRE 2012



Título: Pre-diseño de basculantes y selección para la suspensión de una motocicleta de competición

Autor: Aarón Collantes Gil

Director: Higinio Rubio Alonso

### EL TRIBUNAL

Presidente: \_\_\_\_\_

Vocal: \_\_\_\_\_

Secretario: \_\_\_\_\_

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día \_\_ de \_\_\_\_\_ de 20\_\_ en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE



# Resumen

En este proyecto se plantea una propuesta de diseño de basculante y un sistema de suspensión viable para una motocicleta de competición de categoría Moto3 del mundial de motociclismo.

Se comienza viendo la evolución de basculantes y sistemas de suspensión que ha habido a lo largo de la historia de las motocicletas y los tipos más comunes que existen actualmente y su funcionamiento, con esta introducción se presentan varias propuestas de diseño de basculante, de estas propuestas se escoge uno y se desarrolla y se mejora para que cumpla los requisitos de nuestra motocicleta en concreto.

Después se hace un proceso similar para el sistema de suspensión en el que se proponen unos diseños distintos escogiendo solo uno de ellos, el sistema escogido se optimiza para que cumpla con los requisitos de la motocicleta.

Finalmente se calculan los elementos auxiliares que necesitará el conjunto y se escogerán para completar el diseño del conjunto.

**Palabras clave:** Basculante, motocicleta, MotoStudent, sistema de suspensión, amortiguador.

# Abstract

In this project a swing-arm and a suspension system for a motorbike is exposed. The project is focused on a competition motorbike suitable for the Moto3 World Championship.

We start off by studying the evolution of the swing-arms and suspension systems that has taken place over the years in the context of motorbikes. The most common and most used swing-arms and suspension systems nowadays and their performance are also studied. In this introduction we expose some suggestions of a swing-arm design, out of these suggestions one is chosen over the others. This chosen design is then developed and upgraded for it to satisfy the requirements of our motorbike.

Then a similar process is used for the suspension system where different designs are discussed choosing only one of them. The chosen suspension system is optimized for it to satisfy the requirements imposed by the motorbike.

Last, the auxiliary elements that will be needed are calculated and chosen to fit the final design.

**Palabras clave:** Swing-arm, motorcycle, Motostudent, suspension system and shock absorber.

**INDICE DE CONTENIDOS**

1. INTRODUCCIÓN	12
1.1 ÁMBITO Y JUSTIFICACIÓN	12
1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO	13
1.3 ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO	14
2. PROYECTO MOTOSTUDENT	17
2.1. ASPECTOS GENERALES	17
2.2 MOTOSTUDENT I	17
2.3 MOTOSTUDENT 2012	18
2.3.1. <i>Requerimientos generales</i>	19
2.4 PRUEBAS A SUPERAR	21
<i>Fase MS2 (Pruebas dinámicas)</i>	22
3. TEORIA DE MOTOCICLETAS	23
3.1 HISTORIA DE LA MOTOCICLETA	23
3.1 PARTES PRINCIPALES DE LAS MOTOCICLETAS	27
3.1.1. <i>CHASIS SUBCHASIS</i>	28
3.1.2. <i>MOTOR</i>	29
3.1.3. <i>TRANSMISIÓN</i>	30
<i>SISTEMA DE TRANSMISION PRIMARIO</i>	30
<i>SISTEMA DE TRANSMISION SECUNDARIO</i>	30
3.1.4. <i>SISTEMA DE ESCAPE</i>	31
3.1.5. <i>RUEDAS</i>	31
3.1.6. <i>FRENOS</i>	33
3.1.7. <i>SISTEMA DE DIRECCIÓN</i>	33
3.1.8. <i>SUSPENSIONES</i>	34
<i>SUSPENSION DELANTERA</i>	34
<i>SUSPENSION TRASERA</i>	35
3.1.9. <i>CARENADO</i>	36
3.2 HISTORIA DE LA SUSPENSION TRASERA	36
3.3 SISTEMA SUSPENSION TRASERA BRITTEN	39
3.4 HISTORIA DE LOS BASCULANTES	40
DOBLE BRAZO O MONOBRAZO	40
4. METODOLOGIA	45
4.1 DATOS DE PARTIDA Y MATERIAL ESTÁNDAR UTILIZADO	45
4.2 HERRAMIENTAS DE CÁLCULO Y DISEÑO	46
4.2.1 <i>ENTORNO DE PROENGINEER</i>	46
4.3 CRITERIOS CONSTRUCCIÓN DE BASCULANTE	49
4.4 CRITERIOS PARA LA SUSPENSION TRASERA	52
5. EVOLUCIÓN DE LAS PROPUESTAS DE BASCULANTE	53
5.1 DISEÑO PRELIMINAR	53
5.2 ANALISIS DEL BASCULANTE POR ELEMENTOS FINITOS	59
5.3 DISEÑO FINAL DEL BASCULANTE	70
5.3.1 <i>DATOS DEL BASCULANTE</i>	71
6. EVOLUCIÓN DE LAS PROPUESTAS DE SUSPENSÓN TRASERA	75

6.1 SELECCIÓN SUSPENSIÓN TRASERA _____	75
6.2 CONEXIÓN DIRECTA CHASIS-BASCULANTE _____	76
6.3 SISTEMA BÁSICO DE BIELETAS _____	76
6.4 SISTEMA DE BIELETAS CON EL BALANCIN SITUADO EN EL BASCULANTE _____	77
6.5 SISTEMA BRITTEN _____	78
6.6 COMPORTAMIENTO BUSCADO _____	78
6.7 SISTEMA DE SUSPENSION FINAL TUL-ARIS _____	79
7. ELEMENTOS AUXILIARES _____	85
8. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS _____	89
9. PRESUPUESTO _____	91
10. BIBLIOGRAFIA _____	93

## **INDICE DE IMÁGENES**

FIG. 1 PARTICIPANTE DEL TOURIST TROPHY	12
FIG. 2 MOTOSTUDENT I	17
FIG. 3 EQUIPO MOTO MAQLAB MOTOSTUDENT I	18
FIG. 4 CALENDARIO MOTO STUDENT 2012	19
FIG. 5 NORMATIVA DE MEDIDAS	21
FIG. 6 PARTES PRINCIPALES DE UNA MOTOCICLETA	27
FIG. 7 CHASIS DE TIPO DOBLE VIGA	28
FIG. 8 SUBCHASIS DE ALUMINIO Y ACERO	28
FIG. 9 MOTOR 250CC 4T	29
FIG. 10 CAJA DE CAMBIOS	30
FIG. 11 TRANSMISIÓN POR CARDAN	31
FIG. 12 TUBO DE ESCAPE MARCA AKRAPOVIC	31
FIG. 13 RUEDAS MOTOCICLETA	32
FIG. 14 NEUMÁTICOS SLICK	32
FIG. 15 FRENOS DELANTERO Y TRASERO	33
FIG. 16 SISTEMA DE DIRECCIÓN	34
FIG. 17 HORQUILLA	35
FIG. 18 AMORTIGUADOR TRASERO	35
FIG. 19 CARENADOS	36
FIG. 20 SUSPENSIÓN BRITTEN	39
FIG. 21 MONOBRAZO TUBULAR	41
FIG. 22 BASCULANTE DOBLE BRAZO TUBULAR	41
FIG. 23 RESULTADOS DE LA COMPARACIÓN POR ELEMENTOS FINITOS	42
FIG. 24 PLANO LLANTA TRASERA	45
FIG. 25 PLANO AMORTIGUADOR TRASERO	46
FIG. 26 ILUSTRACIÓN INICIO SESIÓN PROENGINEER	47
FIG. 27 ESQUEMA DISPOSICIÓN SOFTWARE PROENGINEER	47
FIG. 28 SYSTEM TOOLBAR	48
FIG. 29 FEATURE TOOLBAR	48
FIG. 30 PARÁMETROS GEOMÉTRICOS	53
FIG. 31 BASCULANTE INICIAL	54
FIG. 32 BASCULANTE 2.0	54
FIG. 33 BASCULANTE 3.0	55
FIG. 34 BASCULANTE 4.0	55
FIG. 35 BASCULANTE 5.0	55
FIG. 36 BASCULANTE 6.0	56
FIG. 37 BASCULANTE 7.0	56
FIG. 38 BASCULANTE 8.0 LATERAL	57
FIG. 39 BASCULANTE 8.0	57
FIG. 40 BASCULANTE 9.0	57
FIG. 41 BASCULANTE 10.0	58
FIG. 42 BASCULANTE 11.0	58
FIG. 43 BASCULANTE 12.0	59
FIG. 44 CARACTERÍSTICAS DEL ACERO	61
FIG. 45 DETALLE DEL MALLADO DEL BASCULANTE	62
FIG. 46 ANÁLISIS MEF	62
FIG. 47 ELEMENTOS FINITOS BASCULANTE 5.0	63
FIG. 48 DESPLAZAMIENTOS BASCULANTE 5.0	63
FIG. 49 ELEMENTOS FINITOS BASCULANTE 6.0	63

FIG. 50 DESPLAZAMIENTOS BASCULANTE 6.0	64
FIG. 51 ELEMENTOS FINITOS BASCULANTE 7.0	65
FIG. 52 VONMISSES BASCULANTE 8.0	65
FIG. 53 DESPLAZAMIENTOS BASCULANTE 8.0	65
FIG. 54 VONMISSES BASCULANTE 9.0	66
FIG. 55 DESPLAZAMIENTOS BASCULANTE 9.0	66
FIG. 56 VON MISSES BASCULANTE 10.0	67
FIG. 57 DESPLAZAMIENTOS BASCULANTE 10.0	67
FIG. 58 VON MISSES BASCULANTE 11.0	68
FIG. 59 DESPLAZAMIENTOS BASCULANTE 11.0	68
FIG. 60 VON MISSES BASCULANTE 12.0	69
FIG. 61 DESPLAZAMIENTOS BASCULANTE 12.0	69
FIG. 62 BASCULANTE FINAL I	70
FIG. 63 BASCULANTE FINAL II	70
FIG. 64 SUSPENSIÓN DIRECTA CHASIS-BASCULANTE	76
FIG. 65 SUSPENSIÓN POR BIELETAS	76
FIG. 66 POSICIONES DE BIELETAS	77
FIG. 67 BALANCÍN EN EL BASCULANTE	78
FIG. 68 SUSPENSIÓN BRITTEN	78
FIG. 69 SISTEMA SUSPENSIÓN TULARIS	80
FIG. 70 MOTOCICLETA CON SISTEMA DE SUSPENSIÓN ELEGIDO	80
FIG. 71 ESQUEMA SUSPENSIÓN TULARIS	81
FIG. 72 SISTEMA DE SUSPENSIÓN	81
FIG. 73 POSICIÓN INICIAL SUSPENSIÓN	82
FIG. 74 POSICIÓN FINAL SUSPENSIÓN	83
FIG. 75 SUSPENSIÓN MOTOSTUDENT	84
FIG. 76 CATALOGO SKF	85
FIG. 77 CARACTERÍSTICAS DE CORONA DE AGUJAS HK2520-2RS	86
FIG. 78 GRAFICO DE CORONA DE AGUJAS	86
FIG. 79 RODAMIENTOS HK1516	87
FIG. 80 CONJUNTO DE LA SUSPENSIÓN	87

**INDICE DE TABLAS**

Tabla 1.	Comparativa MEF_____	61
Tabla 2	Resultados_____	71
Tabla 3.	Resultados_____	72
Tabla 4.	Características amortiguador trasero _____	82

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 ÁMBITO Y JUSTIFICACIÓN

La motocicleta es uno de los medios de transporte más usados en el mundo a diario, desde hace décadas que obtuvo su expansión hasta estos días que sigue creciendo, es por eso que cada día se invierte más dinero en la creación de nuevos modelos para mejorar las prestaciones y calidad de vida de las personas que lo usan. Uno de los ámbitos donde más se nota esta mejora es en la competición de motocicletas, ya sea en pruebas a nivel mundial como nacional. Tenemos la suerte de contar en España con los mejores pilotos que compiten a nivel mundial tanto en el mundial de velocidad como en categorías Offroad como puede ser el campeonato del mundo de enduro o el mítico Dakar, además no debemos olvidar que la empresa Dorna es la actual organizadora del campeonato del mundo en todas sus categorías, Moto3, Moto2 y MotoGP y es española. Es una afición que engancha a miles de personas en todo el mundo cada fin de semana en los circuitos. Es por eso que también se creen también competiciones como el Motostudent para mostrar la creatividad y rivalidad entre las universidades del mundo y además teniendo la suerte que se celebre en el circuito de Motorland Ciudad del motor de Aragón.



Fig. 1 Participante del Tourist Trophy

Gracias a esta competición ahora mismo entre todos mis compañeros y yo estamos desarrollando una motocicleta prototipo que nos permitirá plasmar nuestros

conocimientos adquiridos en nuestra formación universitaria. En mi caso, concretamente estaré vinculado al diseño y construcción del basculante y suspensión trasera, donde aplicaremos conocimientos de CAD, diseño de maquinas, estudios de elementos finitos y fabricación. Actualmente se usa esta forma de trabajo mediante ordenador en los más altos niveles de la competición o de la fabricación de las grandes marcas. Ya que actualmente la situación hace que los recursos sean más limitados y por eso el ordenador es la mejor forma de optimizar modelos sin recurrir a la fabricación de prototipos por cada pequeña modificación. En nuestro caso y nuestra competición más todavía ya que no contamos con un presupuesto boyante, sino con los recursos que hemos podido obtener de patrocinadores o ayudándonos del ingenio. Y así con un poco de ayuda conseguimos hacer realidad una afición que se tiene desde hace muchos años y que gracias a la universidad y lo aprendido podemos desarrollar el sueño que de otra manera hubiese sido mucho más difícil.

## 1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

El objetivo general que se pretende alcanzar con la realización de este proyecto, consiste en el diseño del sistema de suspensión trasera y diseño y cálculo estructural de un basculante para una motocicleta de competición de 250cc para su posterior fabricación y participación en la competición MotoStudent 2012.

Más concretamente se pretende diseñar un sistema de suspensión con un buen comportamiento dinámico que facilite el manejo de la moto pero a la vez sea diferente a lo visto normalmente en las motocicletas de calle, y un basculante con una buena relación rigidez - peso. Todo ello ajustándose a un presupuesto dado y a unos márgenes de tiempo impuestos por la propia organización.

Para ello se estudiarán las distintas alternativas de suspensión trasera y basculante existentes en la actualidad en el mercado y pasadas a lo largo de la historia de la motocicleta, 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.

Se deberá comparar y elegir entre varias geometrías y materiales del que se fabricará el basculante. Se realizarán diferentes pre-diseños que serán valorados mediante herramientas de elementos finitos, en busca del diseño que mejor se ajuste a las necesidades. En nuestro caso, el software empleado será *Pro/Engineer*, tanto para implementar la geometría ideada 3D como para efectuar el mallado adecuado y los análisis por elementos finitos, con el módulo llamado *Mechanica*.

Otros parámetros a tener en cuenta para el desarrollo final del prototipo serán su peso, su estética, su robustez o algo tan importante como el nivel de complejidad en el momento de la fabricación.

Una vez seleccionado el pre-diseño de basculante, según los criterios establecidos, se procederá a realizar un estudio más detallado mediante elementos finitos del comportamiento del basculante ante diferentes situaciones de carga con el modulo anteriormente especificado.

Por último, reseñar que la propuesta del presente proyecto esta englobada dentro del diseño y fabricación de una motocicleta de competición de 250cc y 4 tiempos, para participar como equipo universitario en la competición *MotoStudent 2012*. Por este motivo, todos los diseños aquí presentados deben cumplir las especificaciones impuestas por la citada organización, siendo especialmente cuidadosos con el diseño seleccionado finalmente.

### **1.3 ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO**

Este documento se divide en 10 capítulos:

- 1- Introducción: En este primer capítulo se introducirá el documento describiendo el marco en el que se sitúa y porque me decante por este proyecto.
- 2- Antecedentes: Explica los resultados obtenidos el año pasado y el punto de partida de este año explicando el reglamento para conocer las limitaciones.
- 3- La motocicleta: Explicación de las partes más singulares de una motocicleta
- 4- Metodología: Explica la planificación seguida en este proyecto y los procedimientos que se van a usar en el proyecto para llegar al conjunto final.
- 5- Evolución de la propuesta de diseño de basculante: Determina el basculante definitivo y se optimiza para que cumpla con los requisitos requeridos.
- 6- Sistema de suspensión: Se diseñan varios sistemas de suspensión entre los que se escogerá uno como diseño final, posteriormente se optimiza para que se ajuste a los requisitos propuestos.
- 7- Cálculo de elementos auxiliares: Determina los rodamientos y cabezas articuladas que se incluirán en el conjunto.
- 8- Conclusión y trabajos futuros: Concluye el trabajo y exposición de futuras líneas de trabajo.

9- Presupuesto: Muestra el presupuesto del proyecto, exponiendo las horas dedicadas a cada tarea.

10- Bibliografía: Recoge los libros, documentos y páginas web empleadas para la realización del proyecto.



## **2. PROYECTO MOTOSTUDENT**

### **2.1. ASPECTOS GENERALES**

Este proyecto surge de la participación de la Universidad Carlos III de Madrid en la competición MotoStudent, promovida por la fundación *Moto Engineering Foundation*, la competición es un desafío entre estudiantes de distintas universidades.

El desafío consiste en que el equipo simule formar parte de una empresa destinada al diseño de motos de competición en la que se deben llevar diversas tareas tales como el diseño, la fabricación, la puesta a punto y estrategias de venta de una moto de competición, el resultado de este trabajo será una moto de pequeña cilindrada que correrá en el circuito de Motorland contra las motos de las demás universidades.

### **2.2 MOTOSTUDENT I**

MotoStudent 2010 consistió en diseñar y fabricar un prototipo de motocicleta de competición de pequeña cilindrada 125cc, 2t.

Después de un estudio de los modelos actuales de motocicleta y de acuerdo con la normativa de la competición, el equipo comenzó a diseñar la motocicleta partiendo de una hoja en blanco.

Una vez las ideas estuvieron claras, se creó un modelo virtual diseñando y ensamblando todos los componentes y realizando simulaciones dinámicas con las que el equipo pudo solventar errores de diseño. Cuando el modelo virtual se completó, todos los componentes se fabricaron y montaron. El prototipo estuvo listo para probarse en un circuito real.



**Fig. 2 Motostudent I**

La primera prueba fue un éxito y el equipo volvió a casa con muy buenas sensaciones y ánimo para corregir los errores que no pusieron ser determinados con las simulaciones. Además, con el software de adquisición de datos, conseguimos un mayor conocimiento del comportamiento de la motocicleta. Después de las últimas modificaciones, la motocicleta estaba lista para competir. Durante la competición, todos los prototipos son sometidos a una serie de pruebas con la finalidad de comprobar su seguridad y el cumplimiento de las normas de la competición. Una vez chequeados todos los prototipos, éstos fueron probados por pilotos profesionales, que determinaban la capacidad de la motocicleta a frenar, acelerar, entrar en curva etc. Con esta prueba, el equipo pudo hacer los últimos cambios basándose en las sensaciones del piloto. Finalmente, el equipo de la asociación Moto-Maqlab-UC3M ganó un premio de 3000€ a la mejor innovación tecnológica gracias a su sistema de suspensión y su buen proyecto industrial.

Gracias a esta experiencia, estamos preparados para afrontar un nuevo reto en MotoStudent II.



Fig. 3 Equipo MotoMaqlab Motostudent I

### 2.3 MOTOSTUDENT 2012

La competición MotoStudent promovida por la fundación Engineering Foundation 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 cilindrada de 250cc y 4T, con su evaluación pertinente, en unas jornadas que se llevarán a cabo inicialmente en las instalaciones de MotorLand Aragón-Ciudad del Motor de Aragón.

La competición en sí misma es un reto para los estudiantes, donde éstos, 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.

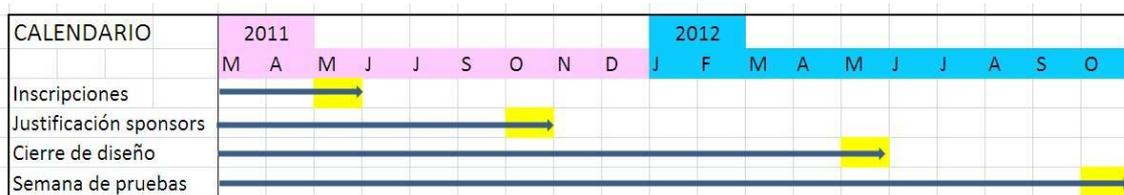


Fig. 4 Calendario MotoStudent 2012

### 2.3.1. Requerimientos generales

#### DIMENSIONES

- El ángulo mínimo de inclinación lateral de la motocicleta sin que ningún elemento de la misma (exceptuando los neumáticos) toque el pavimento debe ser  $50^\circ$ . Dicha medición se realizara con la motocicleta descargada (sin piloto) pero con todo el equipamiento y líquidos para su funcionamiento.
- La distancia libre al pavimento con la motocicleta en posición vertical ha de ser de un mínimo de 100mm 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.
- Los neumáticos deberán tener una tolerancia mínima de 15 mm con cualquier elemento de la motocicleta en toda posición de la misma y reglaje de geometría.

#### PESOS

El peso mínimo del conjunto de la motocicleta en orden de marcha incluido deposito, gasolina y líquidos no deberá ser inferior a 95 kg en cualquier momento de las pruebas. El peso se podrá verificar tanto al inicio, durante y final de la competición. Esta permitido lastrar el vehículo para alcanzar el peso mínimo.

## CICLÍSTICA

- Suspensión trasera: 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. Se permite el reglaje del amortiguador solo en base a cambio de muelles y fluidos hidráulicos. Esta prohibido el uso de titanio, aleaciones ligeras y compuestos de fibra en los ejes de rotación de los componentes del sistema de suspensión trasera. No podrán utilizarse sistemas activos o semiactivos y/o controles electrónicos de cualquier parámetro de la suspensión.
- Freno trasero: Deberá utilizarse el conjunto de freno delantero (bomba, latiguillos y pinza) proporcionado por la organización. Se permite la elección del tipo de pastillas y disco de freno. 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. La esfera podría estar rectificada con un plano de una anchura mínima de 14 mm, los bordes del plano han de ser redondeados.
- Basculante: El basculante deberá ser de fabricación propia. Esta 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.
- Llantas y neumáticos: La organización suministrara las llantas y neumáticos y se prohíbe su modificación. Sus dimensiones serán:

Delanteras 2.50” x 17”

Traseras 3.50” x 17”

Esta 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 nylon en los extremos del eje para posibles caídas. Estos protectores deberán ser redondeados con un diámetro igual o superior al del eje utilizado. Los ejes de rueda no podrán sobresalir de su alojamiento en sus extremos más de 30 mm. No se consideran en estas medidas posibles protectores de nylon.

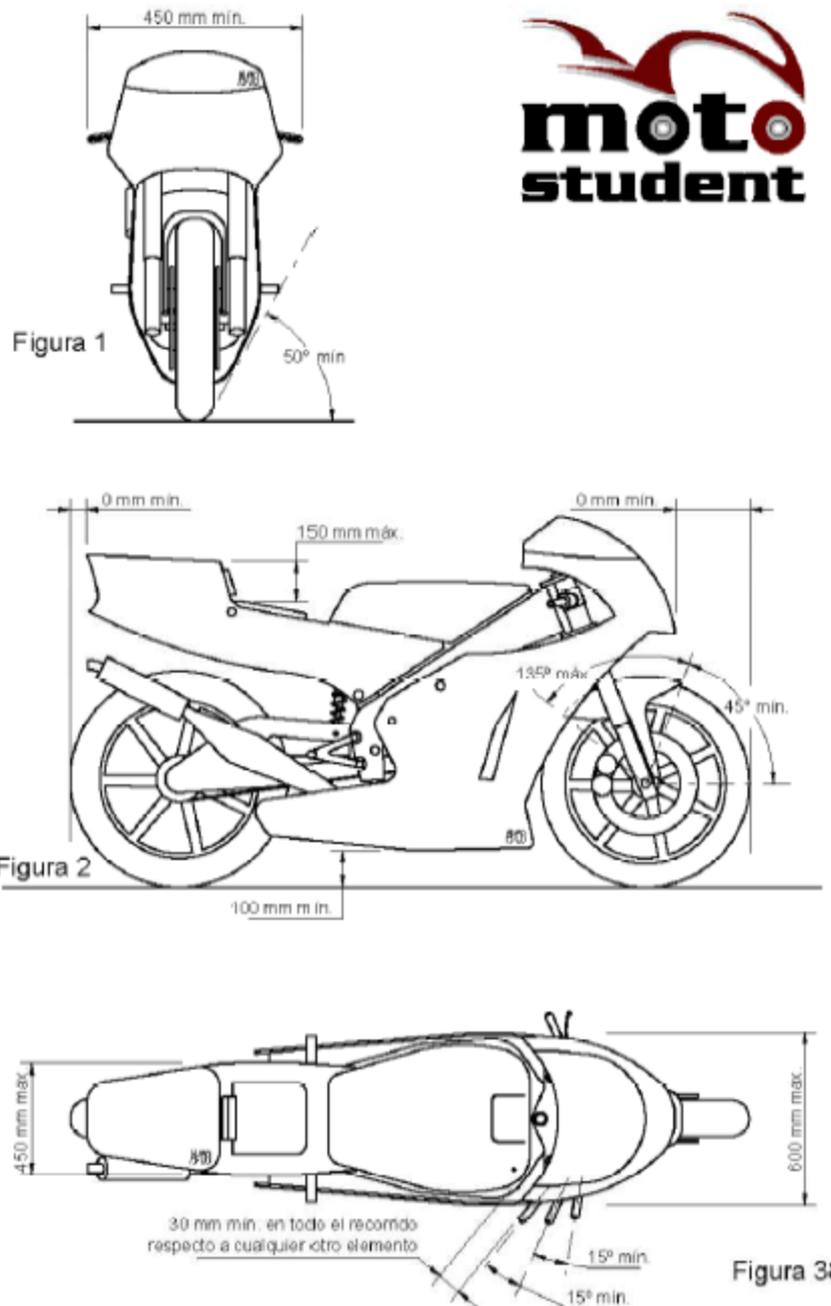


Fig. 5 Normativa de medidas

## 2.4 PRUEBAS A SUPERAR

### 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.

### **Fase MS2 (Pruebas dinámicas)**

- **Evaluación de prestaciones mínimas**

Los equipos que hayan superado las pruebas de seguridad realizaran en pista una prueba de mínimas prestaciones.

La organización facilitará a los equipos 2 tandas de 40 min durante la prueba de evaluación de prestaciones.

Los requisitos mínimos se refieren a durabilidad y prestaciones mínimas, así las motos para ser consideradas aptas para la carrera deberán:

Realizar un mínimo de 7 vueltas seguidas a un promedio no inferior a 110 Km/h.

- **Carrera**

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

La parrilla se establecerá según la clasificación obtenida según los requisitos mínimos de promedio de las 7 vueltas seguidas realizadas en las tandas de evaluación.

Las motos se pilotarán por los pilotos presentados por los equipos y aprobados por la organización según se indica en el apartado 2. La carrera se llevara a cabo sobre una longitud mínima de 35 km. La organización establecerá puntualmente el número de vueltas y duración de la carrera.

## **3. TEORIA DE MOTOCICLETAS**

### **3.1 HISTORIA DE LA MOTOCICLETA**

El principal atractivo de conducir una motocicleta veloz ha cambiado muy poco en el último siglo y pico. Durante ese tiempo, las motos han pasado de ser máquinas simples con un solo cilindro a convertirse en ultra sofisticados ingenios capaces de superar los 300Km/h. Pese a ello la sensación que produce asir el manillar y meter gas a fondo es casi la misma tanto si estamos a lomos de la última *superbike* como si conducimos una gran dos cilindros en V de los primeros años del siglo XX.

“Rápidas” es un concepto relativo, así que pocos lo emplearían actualmente para describir una moto que apenas alcanzase los 40Km/h. Sin embargo, ésa era la velocidad máxima de la primera moto de serie, construida en Alemania por Hildebrand y Wolfmüller en 1894. Y si tenemos en cuenta que el freno trasero de esta dos cilindros de 1500cm<sup>3</sup>. Refrigerada por agua era una simple barra de metal arrastrada por el suelo. Lo más seguro es que incluso esa velocidad pareciese más que suficiente.

La moto de Hildebrand y Wolfmüller constituía sin duda una mejora respecto a la primera motocicleta, la Einspur “monocarril” monocilíndrica de 265cm<sup>3</sup> construida en madera nueve años antes por otro alemán, Gottlieb Daimler. Con todo, la motocicleta tal y como la conocemos hoy fue creada en 1901. Aquel año los hermanos franceses Werner (cuya firma era una de tantos fabricantes de motocicletas que situaban el motor en muy distintos lugares) trasladaron el motor de la rueda delantera a un cuadro rectangular entre las ruedas.

La “nueva Werner” se manejaba mucho mejor gracias a su centro de gravedad más bajo y sentó el modelo a seguir, con alguna notable excepción, en el diseño de motocicletas. Los avances fueron sucediéndose a partir de entonces. También en 1901 la firma estadounidense Indian construyó su primer modelo y, un año después, Harley-Davidson haría lo propio. A medida que la demanda de transporte personal crecía a ambos lados del atlántico, aumentaron las empresas que construían motocicletas con las más diversas configuraciones de motor.

Poco tardaron los diseñadores de motocicletas en introducir innovaciones en las sencillas máquinas monocilíndricas del siglo XIX. Numerosas firmas empezaron a construir motos de dos y hasta cuatro cilindros antes de la Primera Guerra Mundial a medida que un número cada vez mayor de gente descubría la emoción y la comodidad de las motos.

Durante las décadas de 1920 y 1930, las monocilíndricas, cada vez más sofisticadas y veloces, consiguieron conservar su popularidad al tiempo que hacían su aparición

monturas de doble cilindro como la Speed Twin de Triumph y la Brough Superior, que daban una nueva dimensión de motociclismo de grandes cilindradas.

Las máquinas de cuatro cilindros construidas por la empresa belga FN no eran las más rápidas de los primeros años del motociclismo, pero sí se contaban entre las más fiables y sofisticadas. Creada en 1904, la FN four causó sensación gracias a su avanzado diseño, que incluía transmisión secundaria por cardán y un chasis simple pero ligero y eficiente. La Four fue un éxito comercial: se mantuvo en producción durante más de dos décadas, durante las cuales experimentó sucesivos aumentos de cilindrada.

Las motos construidas por Alfred Angas Scott, en su fábrica de Yorkshire se encuentran entre las más innovadoras y de mejor diseño de los primeros años del motociclismo; y también entre las más rápidas. Ninguna moto podía compararse con ellas en aspecto, sonido o rendimiento. Su velocidad quedó de manifiesto en numerosas ocasiones, como cuando vencieron en las ediciones de 1912 y 1913 del Señor TT de La Isla de Man.

La moto Ace fue diseñada por William Henderson, cofundador de la marca Henderson, y había sido remozada tras su muerte, acontecida en 1922 mientras probaba una de sus motocicletas. La Ace gozaba de renombre por su velocidad y calidad, así que el primer paso de Indian tras hacerse con sus derechos fue continuar la producción de la Four sin apenas cambios. Indian mantuvo inicialmente el nombre de Ace, si bien desde junio de 1927 en adelante fue rebautizada como Indian Ace, y estuvo disponible en el habitual rojo oscuro de la firma, así como en su azul original.

La moto Ace fue diseñada por William Henderson, cofundador de la marca Henderson, y había sido remozada tras su muerte, acontecida en 1922 mientras probaba una de sus motocicletas. La Ace gozaba de renombre por su velocidad y calidad, así que el primer paso de Indian tras hacerse con sus derechos fue continuar la producción de la Four sin apenas cambios. Indian mantuvo inicialmente el nombre de Ace, si bien desde junio de 1927 en adelante fue rebautizada como Indian Ace, y estuvo disponible en el habitual rojo oscuro de la firma, así como en su azul original.

Las últimas Four, construidas en 1940 y 1942, incorporaban enormes guardabarros con faldones y suspensión trasera. Eran elegantes y muy cómodas, pero pesadas y de lenta maniobra. Tras el estallido de la Segunda Guerra Mundial, Indian produjo un gran número de motos de dos cilindros en V para el ejército y desarrolló dos prototipos de moto de cuatro cilindros llamados X44 y Torque Four. Éstos no llegaron a despegar, pues la producción del buque insignia de cuatro cilindros de Indian no se reanudó tras la guerra.

“De diez a cien en directa” era el orgulloso eslogan con que Ariel anunció la Square Four durante la década de 1950. De esta forma resaltaba las prestaciones de la moto a bajas revoluciones, así como su velocidad máxima por encima de los 161 Km/h.

La Square Four fue rediseñada en numerosas ocasiones durante su producción que se extendió entre 1931 y 1958. A lo largo de esos veintisiete años se dobló la cilindrada del motor y se transformó por completo el chasis y el perfil. Sin embargo, pese a ello, su potencia, su suavidad y el tamaño compacto de su motor de cuatro cilindros refrigerado por aire se mantuvieron constantes.

En la década de 1950, el principal objeto de deseo de todo motorista con ánimo competitivo no podía ser otro que la Gold Star DBD 34 Clubman, ya fuera tanto para correr en la Isla de Man como para competir en pista corta o en la calle en carreras privadas entre amigos. Estilizada, decidida y agresiva, la DBD 34 Clubman era la última y más conocida versión de una serie de monocilíndricas Gold Star con motores de 350 cm<sup>3</sup> y 500 cm<sup>3</sup> pensados para largos trayectos, trial y motocross.

Moto Guzzi se alzó con tres campeonatos del mundo de 250 cms<sup>3</sup> y cinco títulos consecutivos de 350 cms<sup>3</sup>. Fue la competición precisamente lo que inspiró la Guzzi más famosa de todas: la V8 de 500 cms<sup>3</sup> de 1956. El exótico motor diseñado por Giulio Carcano producía 72 CV y registró una velocidad máxima de 286Km/h en el Gran Prix de Bélgica de 1957. No obstante Guzzi se retiró de las carreras ese mismo año, antes de que la V8 tuviera oportunidad de dejar huella.

Desde el punto de vista de las dos ruedas, la década de 1970 empezó, en realidad en 1969, cuando Honda lanzó la CB750. “La primera superbike” no solo maravilló por su motor de cuatro cilindros en línea, que pronto sería adoptado por las demás marcas japonesas, sino que también hizo gala de un nivel de sofisticación muy superior al de los fabricantes británicos, lo que confirmaba que había comenzado una nueva era.

Para el final de la década, las firmas japonesas habían aportado una extraordinaria variedad de superbikes con dos, tres y seis cilindros; algunas de las cuales con una potencia superior a los cien CV. A ese floreciente mercado se unieron los fabricantes europeos, con un sinnúmero de modelos exóticos.

A diferencia de la década anterior, en la que se manifestó una tendencia hacia una mayor potencia y un mayor tamaño, la década de 1980 vio evolucionar a las superbikes de distintas formas. Las primeras estrellas de esa era fueron una variación de lo visto antes: bestias grandes y pesadas, con motor de varios cilindros refrigerado por aire, bastidor de acero tubular y doble amortiguador trasero. Sin embargo, las motos siguientes se refinaron y lograron un mayor rendimiento y potencia adicional. La nueva raza de superbike contaba con motor de refrigeración por agua, bastidor de aluminio, suspensión trasera por monoamortiguador y carenado aerodinámico. Hacia el final de la década, la superbike definitiva era una máquina más pequeña, ligera y sofisticada.

En los noventa, las superbikes mejoraron y se hicieron más rápidas, alcanzando velocidades de más de 241Km/h. El manejo de las máquinas estándar, las producidas en serie, era igual al de las motos de competición de unos años antes. Los avances tecnológicos estaban allí para todos aquéllos que podían permitírselos, como los

pistones ovalados de Honda o las suspensiones delanteras sin horquilla de Yamaha y Bimota.

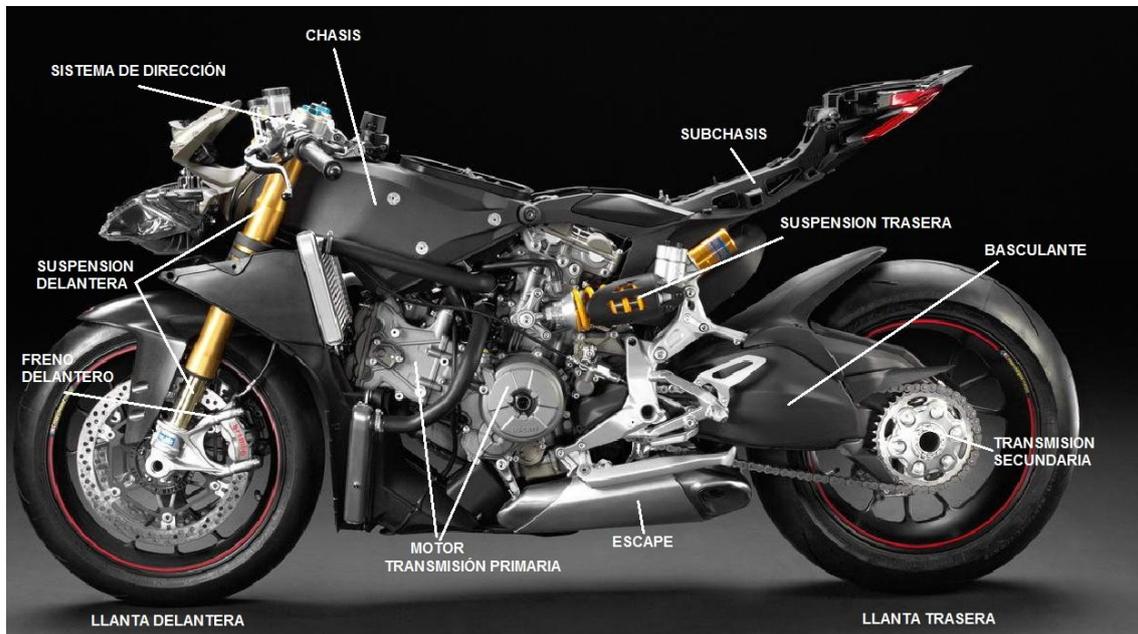
Sin embargo, la mayoría de las motoristas prefería máquinas más convencionales. Muchas de las mejores superbikes eran versiones mejoradas de formatos establecidos, como las bien diseñadas dos cilindros en V de Ducati o las rápidas y ligeras cuatro cilindros japonesas. Si lo que se quería era velocidad pura, no había nada comparable a la aerodinámica Hayabusa de Suzuki.

Durante los primeros años del nuevo milenio las motos mostraron una tendencia hacia la especialización. Las supersports se volvieron mucho más potentes, ligeras y rápidas. Dicho desarrollo estuvo motivado en parte por el uso de motos en circuitos de carreras; una práctica cuya popularidad había crecido rápidamente debido a la dificultad que suponía desatar un sentimiento tan temible en carreras públicas.

Otra máquina que decía mucho en favor de las superbikes era la Kawasaki ZX-12 R, cuya velocidad se limitó a 300Km/h. Este límite fue acordado por los principales fabricantes para evitar que les obligaran a dotar a sus máquinas de velocidades más bajas.

La evolución de la motocicleta a lo largo de la historia, es algo que siempre ha dependido de la utilización que de ella ha demandado la sociedad. Por supuesto, la evolución tecnológica ha sido vital en dicho proceso evolutivo, pero casi siempre ha dependido de las necesidades que este tipo de vehículo tan peculiar ha cubierto en la sociedad.

### 3.1 PARTES PRINCIPALES DE LAS MOTOCICLETAS



**Fig. 6 Partes principales de una motocicleta**

En los siguientes apartados se hablará sobre las partes que hemos indicado en la figura 6 que señalan las partes más trascendentes de una motocicleta o comunes.

Chasis y subchasis partes que sirven de nexo de unión de todos los anteriores elementos y que dan forma a una motocicleta aparte de ser los encargados de soportar la mayoría de esfuerzos ocurridos durante el movimiento.

Basculante; parte estructural encargada de sujetar la rueda que proporciona tracción y a la vez el recorrido de suspensión.

El motor que es donde estaría también incluida la transmisión primaria y donde se desarrolla la combustión para conseguir el trabajo mecánico.

Transmisión secundaria; transmite esa energía mecánica a la rueda trasera.

Suspensión delantera y trasera; amortigua los posibles imperfecciones del terreno.

Sistema de escape; regula los decibelios emitidos al ambiente.

Sistema de frenos; los encargados de hacer parar la motocicleta.

Sistema de dirección; da maniobrabilidad a la motocicleta

### 3.1.1. CHASIS SUBCHASIS

La función del chasis es servir de apoyo y sujeción al resto de los elementos que forman la motocicleta. Por una parte, sujetar el motor, y por otra, las ruedas, suspensiones y a los propios ocupantes. Hay muchas variedades tanto en estructura como en materiales, siempre persiguiendo conseguir rigidez y bajo peso.



Fig. 7 Chasis de tipo doble viga

El subchasis es la estructura que se encuentra bajo el colín, donde se ubica el alojamiento para el piloto. Se trata de un elemento de escasa importancia a la hora de diseñar una motocicleta, lo único que hay que conseguir es que soporte el peso del piloto y que este se encuentre en la posición deseada.



Fig. 8 Subchasis de aluminio y acero

### 3.1.2. MOTOR

Es el encargado de propulsar la motocicleta. Suelen ser de combustión interna (que obtiene energía mecánica directamente de la energía química producida por un combustible al arder este dentro de una cámara de combustión) de dos o cuatro tiempos. Actualmente se presentan en el mercado motocicletas que montan motores eléctricos. Transmite la potencia a la rueda trasera mediante el sistema de transmisión. Los sistemas que conforman el motor son:

- Sistema de distribución: se ocupa del trasvase de gases
- Sistema de alimentación: es el encargado de mezclar la gasolina y el aire.
- Escape: extrae los gases quemados, provenientes del motor.
- Catalizador: minimiza la contaminación provocada por los residuos gaseosos del motor.
- Encendido: provoca la chispa que desencadena la combustión.
- Refrigeración: disipa calor para evitar un calentamiento excesivo de las piezas.
- Lubricación: impide que las piezas entren en contacto directo, impidiendo el rozamiento.
- Elementos eléctricos: desde iluminación a funciones accesorias.



Fig. 9 Motor 250cc 4T

### 3.1.3. TRANSMISIÓN

La transmisión es el sistema que se encarga de transportar el par desde el motor a las ruedas. Está formado por:

#### SISTEMA DE TRANSMISION PRIMARIO

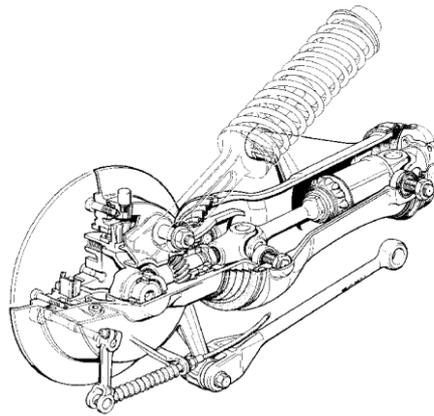
Es el responsable de la transmisión del movimiento desde el cigüeñal hasta el embrague (permite transmitir la energía mecánica del motor, y desconectar el cigüeñal y el cambio a voluntad del conductor). El método más común es mediante diferentes relaciones de engranajes (Caja de cambios) de tal forma que la misma velocidad de giro del cigüeñal puede convertirse en distintas velocidades de giro en las ruedas.



Fig. 10 Caja de cambios

#### SISTEMA DE TRANSMISION SECUNDARIO

La transmisión secundaria es la encargada de transmitir el movimiento desde la salida de la caja de cambios hasta la rueda trasera. La forma más habitual de transmitir este par es mediante cadena, aunque también es usada la transmisión mediante correa o incluso la transmisión tipo cardan.



**Fig. 11** Transmisión por cardan

### 3.1.4. SISTEMA DE ESCAPE

El sistema de escape es el encargado de conducir los gases de escape procedentes de la cámara de combustión hacia el exterior. Los tubos de escape de competición para motos de 4T no son tan complejos como las anteriores 2T, se consiguen diferentes prestaciones variando la longitud de tubo de escape y su anchura, haciendo así que los gases de escape tengan una salida rápida al exterior o tarden más por la longitud mayor. Todos los escapes incorporan una parte final llamada silenciador. El silenciador, tiene como misión reducir el ruido que llega al exterior.



**Fig. 12** Tubo de escape marca Akrapovic

### 3.1.5. RUEDAS

Una motocicleta dispone de dos ruedas. La rueda delantera es la directriz, mientras que la trasera es la rueda motriz. Las ruedas están formadas por la llanta y el neumático y son las responsables del contacto entre la motocicleta y el asfalto. La llanta es la parte rígida de la rueda que se une al sistema de suspensión de modo fijo. Esta compuesta por tres partes: la llanta, donde se aloja el neumático, el buje donde se encuentran los rodamientos y el eje y los radios que unen la llanta con el buje.



**Fig. 13 Ruedas motocicleta**

Los neumáticos son los responsables de la transferencia de los esfuerzos moto-suelo. Soportaran esfuerzos tanto longitudinales como transversales según las diferentes maniobras. En condiciones normales se utilizara slick, es decir neumático liso, ya que este maximiza la superficie en contacto con el asfalto. De hecho, en la actualidad todas las motos de competición, en dichas condiciones, utilizan este tipo de neumático liso, que se suelen presentar con compuesto blando o medio y en la actualidad diferentes compuestos en un mismo neumático dependiendo las curvas a derecha e izquierdas que tenga el circuito. En condiciones de lluvia se utilizan neumáticos rayados o específicos de agua, para poder evacuar el agua de la pista y no llegar a hacer aquaplaning (perder el contacto con el suelo en condiciones de asfalto mojado)



**Fig. 14 Neumáticos slick**

### 3.1.6. FRENOS

Los frenos son los encargados de disminuir la velocidad de la motocicleta si así lo requiere el piloto. El sistema de frenado consta de un circuito hidráulico que al activarse provoca la deceleración de la motocicleta mediante fricción. La capacidad de frenada dependerá del área de fricción, del material de las pastillas, de la fuerza aplicada por el sistema de accionamiento y de la distancia desde el punto de aplicación de la fuerza al eje de giro de la rueda. La totalidad de las motocicletas de gran premio de 250cc en la actualidad llevan frenos de disco, presentando un disco pequeño (unos 120 mm de diámetro) en la rueda trasera y un disco mucho mayor en la rueda delantera (unos 300 mm de diámetro). Esto es así debido a que en las frenadas, el freno delantero es el que tiene mayor importancia, debido a la transferencia de pesos del tren trasero al delantero.



Fig. 15 Frenos delantero y trasero

### 3.1.7. SISTEMA DE DIRECCIÓN

El sistema de dirección utilizado en la totalidad de las motocicletas de 250cc del campeonato del mundo de velocidad está compuesto por dos tijas de dirección que tienen alojados sendos rodamientos, permitiendo movimiento relativo entre la horquilla delantera (botellas de suspensión y tijas) y la pipa de la dirección. Para poder aplicar un par de giro se acoplan a las botellas de suspensión unos semimanillares. Los semimanillares no son más que dos piezas tubulares (una para cada lado, derecho e izquierdo) fabricadas normalmente en aluminio, donde se encuentran acopladas las manetas de freno delantero y embrague, según el lado y los puños donde se agarra el piloto. Este sistema de dirección es válido cuando utilizamos como suspensión delantera una horquilla telescópica.

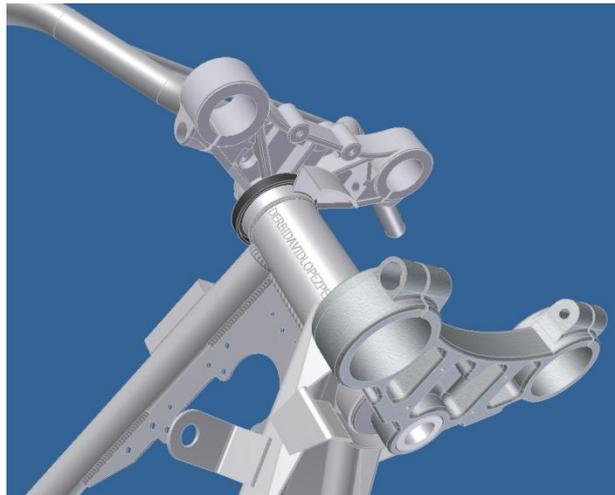


Fig. 16 Sistema de dirección

### 3.1.8. SUSPENSIONES

Las suspensiones de la motocicleta son las encargadas de mantener las ruedas en contacto con el suelo y a su vez, son las encargadas de minimizar el impacto de irregularidades del terreno y las transferencias de peso debidas a procesos de aceleración y frenada sucedido en la motocicleta.

#### SUSPENSION DELANTERA

Existen diferentes sistemas de suspensión aunque el mas utilizado es el denominado horquilla telescópica. Esta horquilla esta formada por dos brazos que unen la pipa de dirección con la rueda. Estas uniones se dan respectivamente en la tija y en el eje de la rueda. Cada uno de estos brazos lo forman dos tubos de diferentes diámetros tal que, el de menor diámetro llamado barra (fork tube) se introduce en el otro llamado botella (fork slide) pudiendo variar así, la distancia entre los elementos unidos. El mecanismo de suspensión consiste en un muelle en el interior de cada brazo que hará que se tienda al máximo estiramiento después de cada compresión. Para minimizar las oscilaciones propias de un muelle, se introduce aceite hidráulico en la parte inferior a modo de amortiguador. En función de la disposición de estos elementos diremos que la horquilla es convencional o invertida. En la convencional, las barras van sujetas a las tijas y las botellas al eje.



Fig. 17 Horquilla

## SUSPENSION TRASERA

La suspensión trasera une el chasis con el basculante, y su principal finalidad es la de mantener la rueda trasera en el suelo, para poder aplicar tanto el par motor, como el par de frenada. Tradicionalmente se utilizaban dos amortiguadores para conectar el chasis y el basculante, pero hoy en día el método mas utilizado es el sistema de mono amortiguador. El sistema consta de un único elemento resorte-amortiguador conectado entre el chasis y el basculante. Se encuentra formado por el cuerpo y el vástago. El cuerpo realiza una función parecida a las de las botellas en la suspensión delantera, por lo que se trata de la parte con mayor anchura del amortiguador. Contiene demás elementos de absorción y amortiguamiento como en el caso de la horquilla. También se ha extendido el uso de bieletas para la suspensión trasera, con las ventajas que proporciona la desmultiplicación de recorrido con pequeñas variaciones en estas.



Fig. 18 Amortiguador trasero

### 3.1.9. CARENADO

Se denomina carenado al revestimiento realizado en fibra de vidrio, fibra de carbono, plástico u otro material que se adapta al chasis con fines principalmente aerodinámicos, aunque también estéticos. El carenado de una motocicleta de competición lo podemos dividir en cuatro partes:

- Cúpula: ocupa la parte superior delantera de la moto, incluye un parabrisas transparente, para que cuando se acople el piloto pueda tener visión.
- Quilla: se localiza en la parte inferior, entre las dos rueda, realiza la unión de las dos partes laterales.
- Laterales: son los elementos de unión entre cúpula y quilla, para dar continuidad al carenado completo.
- Colín: es independiente del resto de partes del carenado. Ocupa la parte trasera de la motocicleta y va sujeto al subchasis.



Fig. 19 Carenados

### 3.2 HISTORIA DE LA SUSPENSION TRASERA

El brazo oscilante trasero (comúnmente conocido como basculante) se ha impuesto totalmente como sistema de suspensión trasera y aunque está lejos de ser perfecto, resulta difícil pensar en una alternativa que pueda ser mejor. El basculante se impuso rápidamente al sistema plunger, que era técnicamente muy pobre, aunque fue muy popular en los años 50. Normalmente el basculante estaba formado por un tubo transversal que alojaba los rodamientos de giro y un par de tubos laterales que soportaban la rueda y los amortiguadores. Este diseño tan básico tenía una carencia clara de rigidez torsional y era necesario utilizar dos amortiguadores para evitar el par que producían las fuerzas de la suspensión. Para eliminar estos defectos, la relación más

eficaz entre rigidez y peso se obtiene triangulando el basculante y conectando el vértice al amortiguador, tal y como lo patentó Vincent en 1928.

Más recientemente ha habido una tendencia hacia los sistemas de suspensión trasera por bieletas con un basculante triangulado por debajo del eje de giro y conectado al amortiguador a través de una bieleta. Normalmente, el propósito de todos estos diseños consiste en obtener unas constantes de muelle y de amortiguamiento progresivas a través de medios geométricos. Si la progresividad es deseable, esta puede ser una buena forma de conseguirla porque tanto la relación del muelle como la del amortiguador varían a la vez. Para conseguir este efecto progresivo, es necesario que una bieleta o palanca se incline un ángulo grande para un determinado movimiento lineal, y para ello este brazo de palanca debe ser pequeño. Todos los sistemas de bieletas tienen esto en común. Suponiendo que todos producen unos cambios parecidos en la constante efectiva del muelle (medida en el eje de la rueda), y que su peso y su rigidez son similares, ninguno de estos diseños tiene una ventaja especial sobre los demás, a pesar de lo que digan los fabricantes. Así, la elección de diseño quedará mejor determinada si nos basamos en consideraciones estructurales o de espacio. También resulta beneficioso que el sistema tenga el menor número posible de articulaciones.

Al igual que en el tren delantero, el trasero, con el paso del tiempo, requirió un anclaje elástico con el chasis. Aunque la importancia de equipar suspensión en esta rueda era menos importante que en la delantera, debido a que la dirección del vehículo se encontraba en esta primera, la comodidad y el aumento de las velocidades lo hicieron necesario. Por ello, a partir del primer cuarto de siglo, los modelos de mayor cilindrada primero, y los demás con posterioridad, empezaron a disponer de distintos sistemas de suspensión trasera.

El gran obstáculo en los primeros momentos fue la transmisión secundaria. Los sistemas iniciales, tanto correa como por cadenas de eslabones, funcionaban muy mal si se les sometía a tensiones, y la solución inicial consistió en dotar al asiento de unos sencillos muelles que amortiguasen los choques de la rueda trasera. Algo más tarde se impusieron los sistemas en los cuales la rueda disponía de un mínimo desplazamiento vertical. De los diferentes sistemas, el que más éxito tuvo fue la suspensión trasera por embolo. En este caso, se mantenía el chasis rígido, pero la rueda trasera se anclaba sobre un soporte deslizante que permitía un pequeño desplazamiento vertical, al estar fijado su eje sobre un rail en el que se intercalaba un muelle o un amortiguador hidráulico. Estos sistemas aun no eran lo suficientemente equilibrados, ya que, por una parte, el recorrido de la rueda era muy pequeño, y por otra, su desplazamiento provocaba variaciones de tensión en la transmisión secundaria bastante importantes, ya que era completamente recto.

Algo antes de la segunda guerra mundial, se desarrolló el sistema que más tarde se impondría definitivamente, el brazo basculante. Previamente ya había sido ensayado por algunos fabricantes, pero, a partir de entonces, se extendió de manera definitiva. Este

sistema, ha permanecido hasta nuestros días. Esta forma de por un basculante anclado al chasis en la parte trasera, lo mas cerca posible de la transmisión posterior de tipo rígido como por ejemplo el cardan. Normalmente por sencillez de diseño y de instalación del motor en el caso de transmisión por cadena, hay una pequeña distancia entre el eje del piñón de ataque y el del basculante. Si son coincidentes, el sistema se denomina “coaxial”. El extremo libre de este basculante esta ocupado por el anclaje del a rueda, que de este modo tiene un desplazamiento circular, tomando como centro el anclaje del basculante al chasis. Las funciones elásticas están encomendadas a uno o varios amortiguadores intercalados entre el basculante y el chasis.

Este sistema de suspensión presenta una serie de ventajas. En primer lugar, es bastante ligero, permite un gran recorrido de la rueda, ya que esta no esta limitada por nada, y además el movimiento que sigue es perfectamente compatible con cualquier transmisión secundaria.

Con la llegada de este tipo de suspensión, la practica totalidad de las motocicletas pudieron disponer de un sistema que evitara todos los problemas causados por la falta de tracción al despegarse la rueda del suelo en los baches, las derrapadas por causas de una deficiente adherencia, y facilitara un importante aumento de la comodidad, lo que posibilito el aumento de la potencia, y, sobre todo, de las posibilidades de aplicarla al asfalto.

En este tipo de suspensiones aparecen dos elementos de gran importancia en la motocicleta, el basculante y los amortiguadores. El basculante es el brazo que une la rueda con el chasis y la dota de un movimiento circular alrededor de su eje. Esta pieza debe ser muy robusta, ya que debe soportar todos los esfuerzos de torsión y flexión a los que les somete la rueda trasera. No hay que olvidar que una de las funciones primordiales de la estructura ciclista de la moto es mantener siempre alineadas las ruedas en todo momento.

Los basculantes iniciales eran bastante poco resistentes, normalmente realizados en acero de sección redonda con escasos refuerzos. Con el paso del tiempo, se comprobó que su rigidez era uno de los puntos más importantes para la mejora de la estabilidad a alta velocidad y comenzaron a aumentarse de sección, con perfiles cuadrados y rectangulares. Posteriormente, se reforzaron con triangulaciones superiores e inferiores, secciones trapezoidales, etc... Un tipo especial de basculantes es el monobrazo. Normalmente, estas piezas disponen de dos brazos, de manera que, junto con el eje de la rueda, forman una estructura cerrada. Con el fin de facilitar la extracción de la rueda, se han realizado también modelos con una sola viga lateral muy reforzada.

A lo largo de los años, la colocación del elemento elástico ha ido variando. La posición mas clásica ha sido instalar dos amortiguadores, uno sobre cada brazo del basculante, en la zona cercana al anclaje de la rueda, sujetos por su parte superior al bastidor, sin embargo, y como se estudiara mas adelante en la actualidad esta disposición ha variado.

### 3.3 SISTEMA SUSPENSION TRASERA BRITTEN

Unos de los sistemas mas extraños de suspensión trasera que podemos encontrar en la historia, es posiblemente este sistema que uso John Britten en la construcción de su motocicleta artesanal V1000.

Podemos observar como se ha trasladado el amortiguador a la parte delantera de la motocicleta, consiguiendo según el propio John una mejor distribución de pesos al centralizar masas en un eje mas adelantado de la motocicleta, y mejorar el funcionamiento del amortiguador, ya que en configuraciones estándar situado detrás del motor, este recibe una carga muy alta de temperatura que hacia perjudicarlo en su funcionamiento. Así ahora detrás de la rueda delantera este problema desaparecería.

Toda esta nueva distribución hizo que la suspensión tuviese más piezas móviles que lógicamente produciría mas complicaciones a la hora de una puesta a punto, esto no paro a Britten para que lo implementase y con ello ganase una carreras del campeonato Bott. Recordar que este amortiguador iba anclado en unos de sus puntos al motor, ya que esta moto carecía de chasis como tal conocemos en las motos actuales, eso si el amortiguador seguía trabajando a compresión gracias al sistema de bieletas y tirantes que se se puede ver en la fotografía.

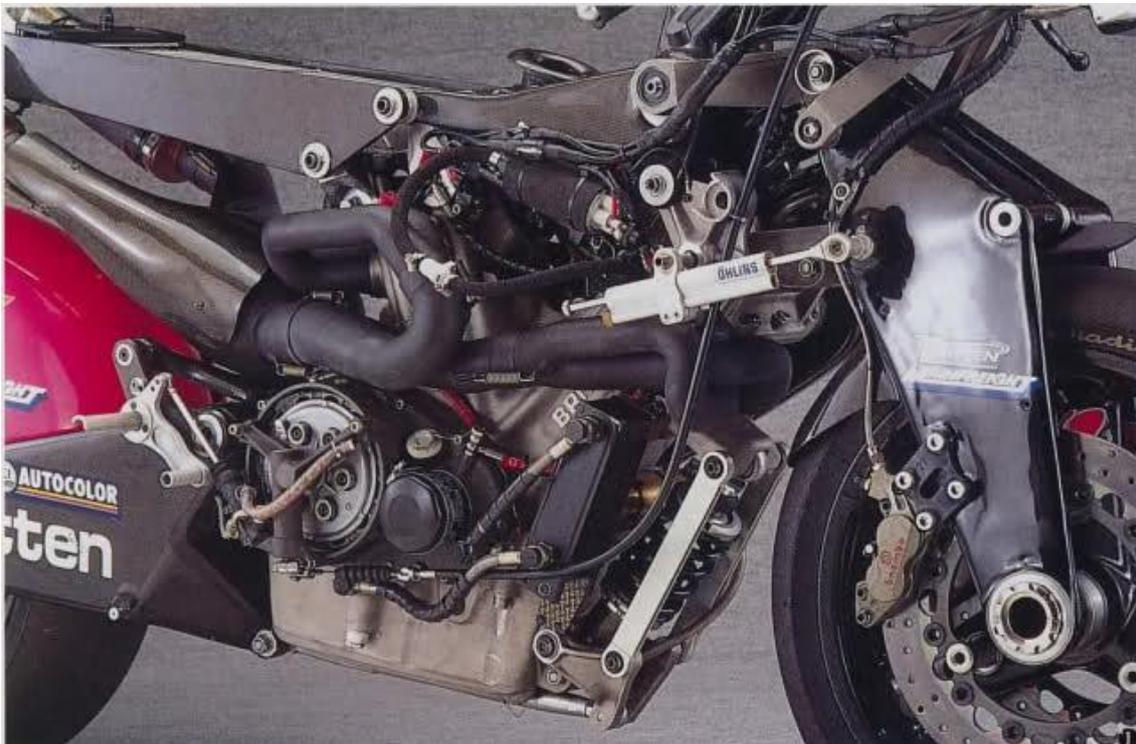


Fig. 20 Suspensión Britten

### 3.4 HISTORIA DE LOS BASCULANTES

Aunque algunos de los primeros diseños de suspensiones con basculante, como los de Moto-Guzzi y Vincent, estaban triangulados para tener una mayor rigidez estructural, parece que este aspecto fue largamente ignorado durante los años 50 y 60, cuando los basculantes comenzaron a ser universales.

La Norton Featherbed lidero un tipo de diseño, que utilizaba un tubo transversal para el giro junto con dos brazos laterales de un diámetro relativamente pequeño. La falta de rigidez torsional llegaba a tal nivel que Girling vendía amortiguadores ajustados por parejas como opción extra, para reducir la torsión adicional debida al desequilibrio de la suspensión. Hasta que Yamaha resucito el basculante triangulado, a finales de los 60 y durante los primeros 70, no se comenzó a prestar atención a las Consideraciones estructurales. Desde entonces hasta hoy en día, la rigidez de los basculantes se ha ido incrementando de forma gradual.

La flexibilidad del basculante permite que la rueda se mueva hacia los lados creándose ángulos de comba y de deriva y por lo tanto fuerzas de dirección. La figura 5.3 (al final de este apartado) muestra estos modos de deformación y su efecto en la orientación de la rueda.

Como estas acciones sobre la dirección no están bajo el control directo del piloto, podemos pensar que van en detrimento del comportamiento dinámico y de la estabilidad, pero en cierto modo actúan de forma parecida al avance de la rueda delantera. Tanto la variación del ángulo de comba como el ángulo de deriva actúan oponiéndose a la fuerza perturbadora, y por lo tanto en algunos casos realmente pueden producir una distorsión menor en la dirección. En general la rigidez estructural de los componentes de un chasis hoy en día ya ha alcanzado un nivel que puede causar problemas para absorber los baches en las curvas, y algunos fabricantes están introduciendo de forma deliberada cierta flexión controlada.

#### DOBLE BRAZO O MONOBRAZO

Los basculantes monobrazo se han usado desde hace mucho tiempo en pequeños ciclomotores y scooters, pero no empezaron a considerarse como una opción seria para motocicletas deportivas grandes y para motos de competición hasta que no aparecieron las Elf de resistencia diseñadas por Andre de Cortanze. Desde entonces ha existido diversidad de opiniones con respecto a esta solución. Honda lo ha empleado en una gran variedad de motos deportivas y de carreras, tanto con transmisión por cadena como por

cardan, Ducati ha tenido mucho éxito en los circuitos, mientras BMW ha pasado a emplear el monobrazo de forma exclusiva en todos sus modelos con transmisión por cardan, primero con un brazo rígido muy simple y más tarde con un sistema articulado llamado “paralever” que controla el levantamiento y el squat. MV ha decidido utilizar un monobrazo de fundición en su nueva superbike F4, De hecho los basculantes monobrazo tienen un uso mucho más amplio de lo que normalmente se piensa.



**Fig. 21 Monobrazo tubular**



**Fig. 22 Basculante doble brazo tubular**

Sin embargo, la mayoría de los fabricantes todavía utiliza el diseño estándar de los últimos 50 años, el basculante de doble brazo, de una forma u otra. ¿Cuál es el motivo? ¿Quizás se debe a la tradición, consideraciones de fiabilidad del producto, estética o es que el diseño simétrico del basculante de dos brazos tiene algunas ventajas técnicas? Lo que nos interesa es el aspecto técnico de esta pregunta y para encontrar la respuesta

“Pre-diseño de basculantes y selección para la suspensión de una motocicleta de competición”

tendremos que estudiar qué características hacen que un basculante sea bueno y como ambos planteamientos (monobrazo y doble brazo) llegan a encontrar esos requerimientos.

Asumiendo que ambas variantes tienen la misma geometría (misma longitud y los mismos puntos de anclaje al chasis), y que tanto el muelle como el amortiguamiento son iguales, existen tres criterios principales para compararlos:

- Rigidez estructural.
- Peso total.
- Masa no suspendida.

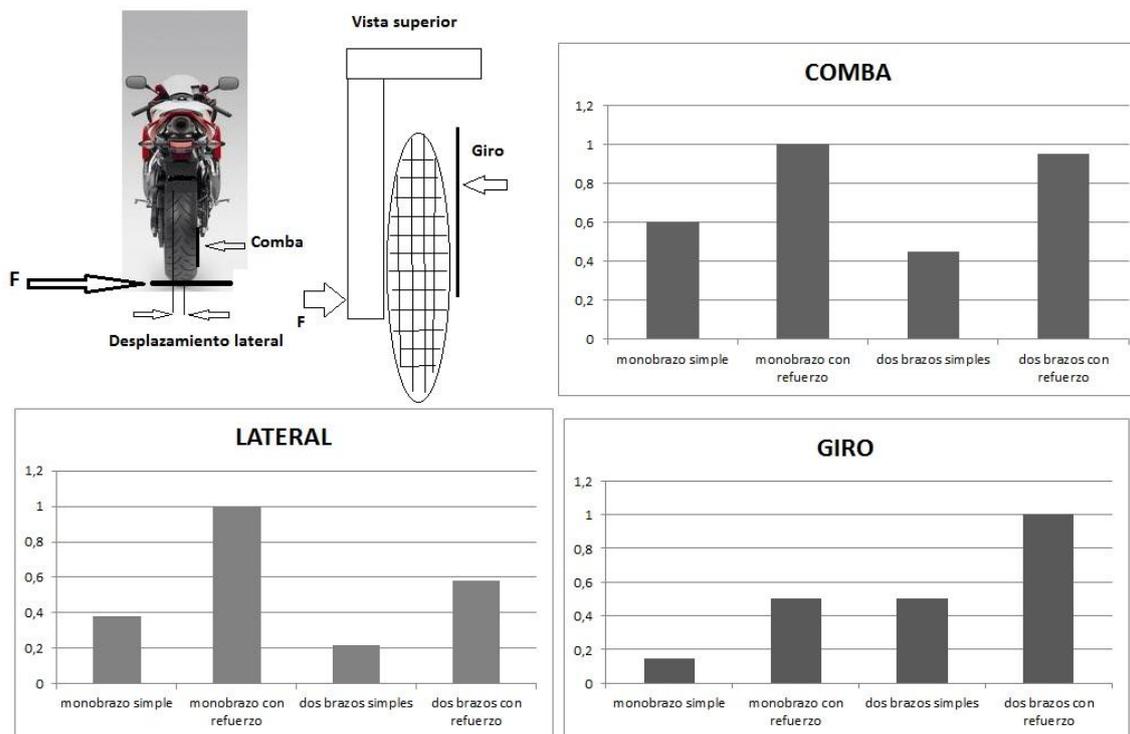


Fig. 23 Resultados de la comparación por elementos finitos

(Los valores de rigidez se muestran en función del mejor de cada caso. El dibujo de abajo a la derecha muestra los 3 tipos de desplazamiento que se consideran en el análisis, cuando sometemos al conjunto a una fuerza lateral (F) en el punto de contacto del neumático con la carretera).

Hoy en día, la suspensión trasera mediante basculante es un diseño universal. A lo largo del tiempo se ha ido incrementando la rigidez estructural, lo que en general ha beneficiado el comportamiento dinámico. Con una o dos excepciones, el empleo de dos amortiguadores montados casi verticales, uno a cada lado de la rueda, fue el sistema de suspensión favorito durante un largo periodo de tiempo. De hecho este sistema todavía se utiliza mucho, aunque en las motos de campo, en las de competición y en las

deportivas el sistema más habitual se basa en algún tipo de monoamortiguador comprimido por un sistema de bieletas. Aparte de proporcionar ventajas estructurales esta solución proporciona una gran libertad en la fase de diseño para hacer que la constante elástica tenga características progresivas o regresivas.

Actualmente existe una gran discusión, aunque sin ningún consenso, sobre si merece la pena utilizar basculantes monobrazo en lugar de los más habituales de doble brazo. En realidad, probablemente se puede hacer que ambos trabajen igual de bien dependiendo de la calidad del diseño de detalle. La facilidad de cambio de rueda debería ser una gran ventaja para el monobrazo en carreras de resistencia. Las motos con transmisión por cardán han conseguido un gran volumen de fabricación de sistemas monobrazo. Si bien existen varias soluciones posibles al problema de la variación de la distancia que existe entre el piñón de ataque y la corona de la rueda, son muy poco utilizadas. En general, la variación de la holgura de la cadena es algo que se acepta, aunque con los largos recorridos de suspensión de las motos de campo se producen variaciones demasiado grandes como para no tenerlas en cuenta. Esto se controla a través de un piñón que se empuja mediante un muelle.





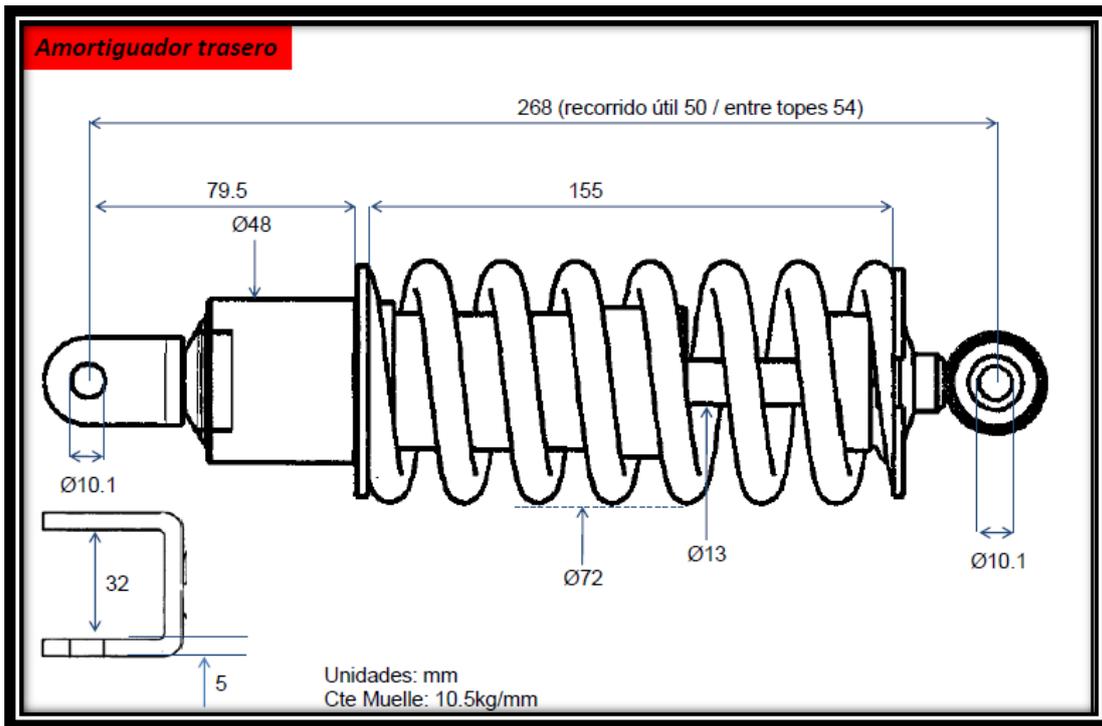


Fig. 25 Plano amortiguador trasero

## 4.2 HERRAMIENTAS DE CÁLCULO Y DISEÑO

Para el diseño de este proyecto se va a usar el programa de diseño asistido por ordenador ProEngineer ya que la propia organización de la competición exige los diseños en este programa, este programa consta de distintos módulos para poder abordar el problema completo, tanto diseño como análisis por elementos finitos. Además de este para el cálculo de geometrías de suspensión nos hemos ayudado del programa Working Models. Y por contrastar resultados en el último diseño se analizará mediante el programa Catia.

En cuanto al cálculo de elementos auxiliares tales como rodamientos y rotulas se empleará el catálogo de SKF online.

### 4.2.1 ENTORNO DE PROENGINEER

El entorno de trabajo de ProEngineer es muy completo y está diseñado de la manera más sencilla posible para ser accesible a cualquier usuario desde un primer momento.

“Pre-diseño de basculantes y selección para la suspensión de una motocicleta de competición”

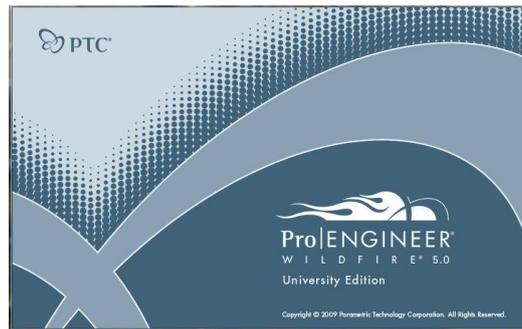


Fig. 26 Ilustración inicio sesión Proengineer

En la figura que se muestra a continuación podemos observar la disposición de la pantalla de trabajo de ProEngineer, con las distintas zonas que la componen.

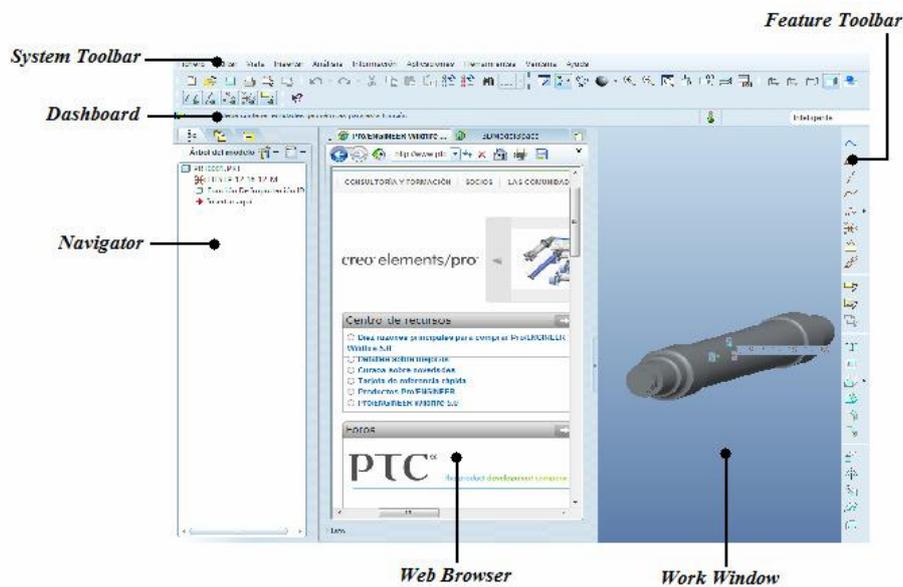


Fig. 27 Esquema disposición software ProEngineer

- Ventana principal de trabajo: En esta ventana podemos encontrar el modelo de trabajo.
- Navigator: Uno de los elementos clave es el Model Tree, árbol del modelo o estructura del modelo activo.

El tipo de información varía dependiendo de si el modelo es un conjunto (assembly) o un componente (part).

Por otro lado, mediante este navegador se puede navegar entre carpetas o abrir/cerrar archivos (Folder Browser), controlar las distintas capas del modelo así como acceder a catálogos online.

- System Toolbar: Comprende los distintos menús e iconos necesarios para interactuar sobre el modelo.

“Pre-diseño de basculantes y selección para la suspensión de una motocicleta de competición”



Fig. 28 System Toolbar

- Feature Toolbar: Esta zona permite acceder a las funciones de construcción y edición más habituales de ProENGINEER. Entre ellas podemos encontrar los comandos de Extrusión, Vaciado, protrusión por barrido, chaflanes, etc.

Datum		Plane
		Axis
		Curve
		Sketched curve
		Point
		Coordinate system
		Analysis
Pick/Place		Hole
		Shell
		Rib
		Draft
		Round
		Chamfer
Base		Extrude
		Revolve
		Variable section sweep
		Boundary blend
		Style
Editing		Copy
		Mirror
		Move
		Merge
		Trim
		Pattern

Fig. 29 Feature Toolbar

- Dashboard: Guía al usuario durante el proceso de creación de un modelo. Incluye entre otros el "Message Area" (el sistema suministra información sobre el estado de la operación) y el "Status Bar" (información sobre el menú/icono que se selecciona).

Tipos de ficheros soportados

La gestión completa de un proyecto requiere el uso de diferentes módulos de ProEngineer, cada uno de ellos dedicado a una labor específica (modelado de sólidos, montaje de conjuntos, realización de planos 2D, etc...) Para facilitar la gestión del proyecto, los ficheros generados por los distintos módulos tienen distintas extensiones.

Cuatro de los tipos de archivos más reseñables o imprescindibles de este software son los siguientes:

- Assembly (\*.ASM): Archivo de conjunto. Un archivo tipo Conjunto puede contener uno a más archivos de tipo conjunto o tipo Pieza.
- Part (\*.PRT): Archivo de pieza. Un archivo de pieza está formado por un conjunto de funciones (extrusiones, cortes, agujeros, redondeos, etc.).
- Drawing (\*.DRW): Archivo de dibujo. Un archivo de dibujo es un plano en 2D formado por vistas provenientes de los modelos 3D citados previamente.
- Step (\*.STP): Archivo CAD. Los archivos STEP son el formato internacional desarrollado para cubrir algunas limitaciones de las normas de conversión de datos.

Existen más tipos de archivo con posibilidad de uso en ProEngineer, como por ejemplo archivos de fabricación, formatos, informes, archivos de información, layouts, diagramas, procesos de montaje, etc.

### 4.3 CRITERIOS CONSTRUCCIÓN DE BASCULANTE

Por tanto, ¿cual deberíamos escoger llegado este punto y que cualidades le vamos a pedir que cumpla?

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

#### **Rigidez**

Como ya hemos visto, es una de las características principales de un basculante. 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 basculante lo más rígido posible. Para ellos nos fijaremos en que los desplazamientos obtenidos después del cálculo por elementos finitos sean los valores menores y todo ello en todos los ejes. Esta rigidez se deberá tener en cuenta

siempre en relación al peso y cantidad de tubos a implementar, ya que un entramado complejo y rígido dificultaría la fabricación.

### **Cargas**

El basculante tendrá que ser capaz de soportar todas las cargas sin entrar en la zona plástica del material. Habrá situaciones en las que soportará el peso de todos los componentes, del piloto, debido a la transferencia de cargas. También hay que tener en cuenta las reacciones en los neumáticos así como las cargas dinámicas que se generen en el funcionamiento de la moto. Como intentar estudiar todas estas formas de cargar el basculante nos extendería mucho el proyecto, nosotros nos centraremos en cumplir las pruebas de la organización en cuanto a resistencia más un plus de coeficiente de seguridad personal de 1.2 de la masa (teórica) total de la moto más piloto. La forma de cargar el basculante será para todas las versiones la misma para poder así comparar de forma objetiva:

En el eje del basculante-unión chasis y motor se le coloca una restricción de tipo Pin bloqueando el movimiento de translación y permitiendo el de rotación alrededor del eje de este. En el anclaje del sistema de suspensión al basculante recibe una restricción total del movimiento. Y la carga a aplicar es de 2000N repartida en las dos superficies finales de los basculantes en donde apoya el eje de la rueda.

El estudio de elementos finitos se realizará mediante el módulo *Mechanica* del programa ProEngineer que se configurará en el modo de mallado automático y single-pass, siendo estos modos los mejores para nuestros estudios.

### **Peso**

Como en todos los vehículos de competición el peso es una característica importantísima, por ello trataremos de reducirlo bastante, pero no tenemos por qué obsesionarnos con aligerarlo al máximo, ya que la moto tiene que llegar a un peso mínimo de 95kg. Es uno de los parámetros a reducir siempre y cuando mantengamos la relación con la rigidez deseada.

### **Material**

El material seleccionado influirá tanto en el diseño como en el coste del prototipo, ya que va ligado a la dificultad de fabricación. Nuestro proyecto al estar limitado económicamente por patrocinadores debemos escoger un material con una relación calidad/precio buena. En un primer momento se cuenta con un acero de excelentes calidades de 970MPa de límite elástico, aunque nunca se descarta un acero más común y más barato de 672MPa. Es uno de los parámetros que debemos tener en cuenta sin llegar a concretar uno solo hasta el final del diseño.

## **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.

## **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 la regulación de la precarga del amortiguador. Esta función es necesaria en las motos de competición ya que se encuentran continuamente sometidas a cambios durante las carreras, además del ajuste del tiro de la cadena o un posible cambio de neumáticos donde se premia la rapidez en el proceso.

## **Variabilidad**

Al tratarse de un primer prototipo y de no disponer de datos de partida, trataremos de realizar una configuración que nos permita realizar algunos cambios sobre los parámetros geométricos de la motocicleta que son compartidos con otros departamentos de la motocicleta. Estos cambios se refieren a la posición de la rueda trasera y a la posición del anclaje del amortiguador, una manera de corregir posibles pequeños errores cometidos en la fase de fabricación sin tener que volver al re-fabricado completo.

## **Montaje**

El basculante tendrá que ser diseñado para que sea fácil el montaje de todos los elementos que componen la suspensión trasera. 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 basculante sea buena. Además para el piloto y para cualquier usuario de motos es importante que el basculante le transmita sensación de seguridad a primera vista. Se conseguirá junto con unos buenos datos de rigidez en el conjunto.

## **Resistencia a impactos**

Es importante tener en cuenta que el basculante será utilizado para la competición donde las caídas e impactos que pueda sufrir este son probables. Tendrá que estar

preparado para resistir ciertos golpes, ya que es una pieza de la que no hay repuestos y en caso de rotura, habría que abandonar la competición.

#### **4.4 CRITERIOS PARA LA SUSPENSION TRASERA**

Para escoger el sistema de suspensión se valora el espacio disponible y la compatibilidad con el resto de la motocicleta, ya que forma parte de las decisiones del equipo al completo, y sobre todo la parte de chasis ya que de estos depende la configuración mas clásica donde se solicita un anclaje en la parte trasera de este o por el contrario una suspensión casi independiente de la forma del chasis. Luego se comprobara su correcto funcionamiento con los requisitos que se plantearan a continuación:

- Cumpla con el recorrido de la rueda deseado aprovechando todo el recorrido del amortiguador. Siendo el recorrido optimo de rueda 120mm, y el del amortiguador proporcionado por la organización de 50mm útiles.
- Viabilidad del sistema, no se puede encontrar interferencias de elementos en todo el recorrido de la suspensión, pero a la vez debe cumplir el primer requisito interpuesto de recorrido.
- Análisis de elementos finitos de los componentes del sistema, se analizaran en mayor o menor medida los elementos de la suspensión susceptibles de sufrir cargas importantes.

## 5. EVOLUCIÓN DE LAS PROPUESTAS DE BASCULANTE

### 5.1 DISEÑO PRELIMINAR

Debemos tener en cuenta las funciones principales de un basculante de motocicleta que son principalmente de dos tipos: estáticas y dinámicas. Desde el punto de vista estático el basculante debe de ser capaz de soportar fuerzas de amortiguador, el peso del piloto, del motor, la transmisión y todos los accesorios necesarios para el correcto funcionamiento.

La otra función es la que se refiere a la dinámica de la moto, el basculante, junto a otros elementos como chasis, 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 basculante debe ser capaz de proporcionar una buena resistencia a la flexión y a la torsión. Además debe conseguir mantener la rueda trasera en el mismo plano que la delantera 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.

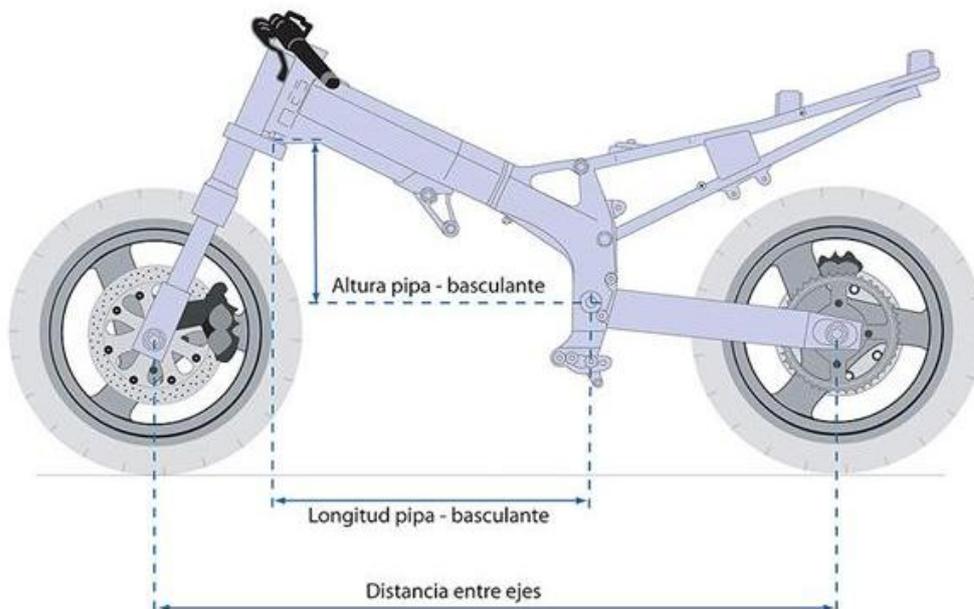


Fig. 30 Parámetros geométricos

Los parámetros geométricos, se llegaron a un acuerdo común entre todas las partes en la que estaba dividida la motocicleta que son:

Distancia entre ejes: 1230mm

Basculante distancia entre centros: 500-600mm

Angulo de lanzamiento: 22°

Aparte de distancias y ángulos se debían tener en cuenta los anclajes disponibles tanto en el motor como los de interrelación de las piezas a diseñar, en nuestro caso chasis y basculante, pero para estos nos encontrábamos en 3D por lo tanto más difícil de concretar en estos primeros pasos de diseño, por tanto se queda de forma abierta por ambas partes.

Como se comento anteriormente se pretende el diseño más rápido y barato de fabricar, por ello se piensa en la construcción de un basculante lo mas recto posible y menos cortes en los tubos a soldar. Entre eso pensamos en el uso de tubo cuadrado que nos permite mediante cortes en ángulo la unión entre ellos mucho mas simple.

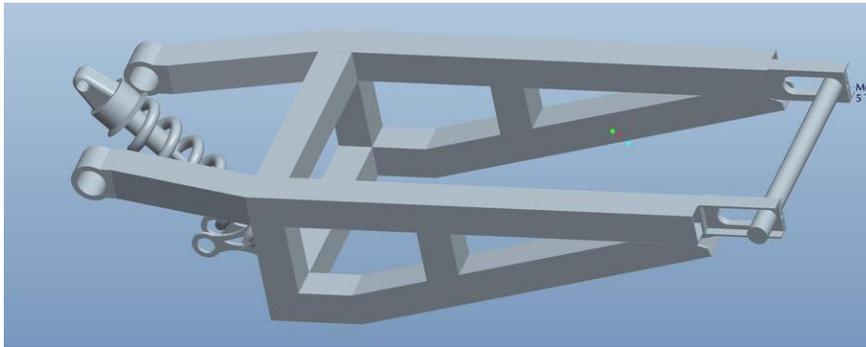


Fig. 31 Basculante inicial

Se puede ver la simplicidad de las líneas, todo recto y cuadrado. Este no era funcional. Por tanto quedaba rechazado. Se propuso una versión 2.0 de este basculante.

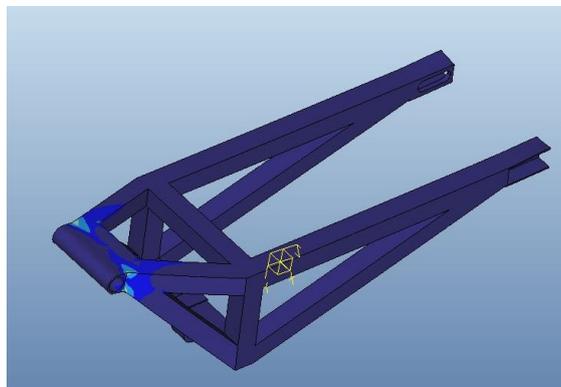
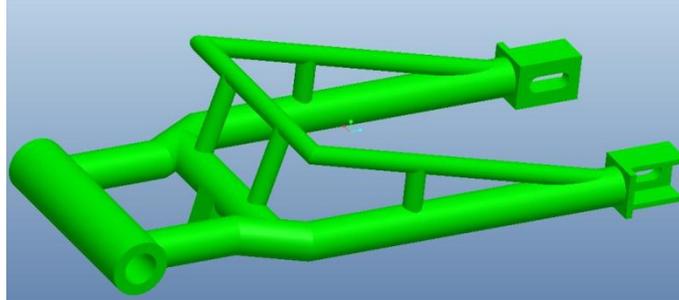


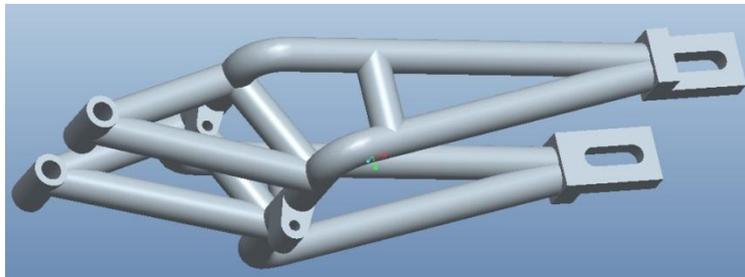
Fig. 32 Basculante 2.0

Aun añadiéndole los refuerzos en la zona del anclaje al motor, el basculante concentraba muchas tensiones en zonas de importancia, y eso era una de las premisas a evitar por lo

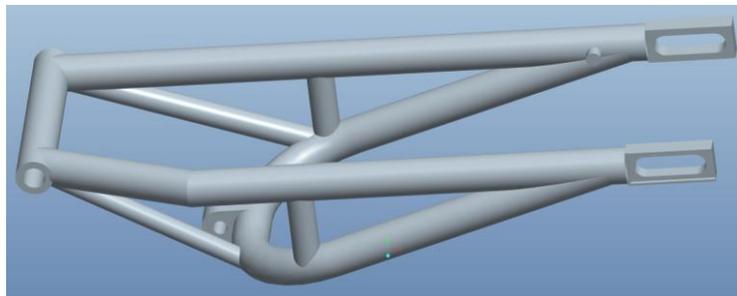
que decidimos también rechazarlo e ir a buscar una nueva vía de diseño, mediante los tubos redondos que usaran los diseñadores del chasis y además queda mas estético.



**Fig. 33 Basculante 3.0**



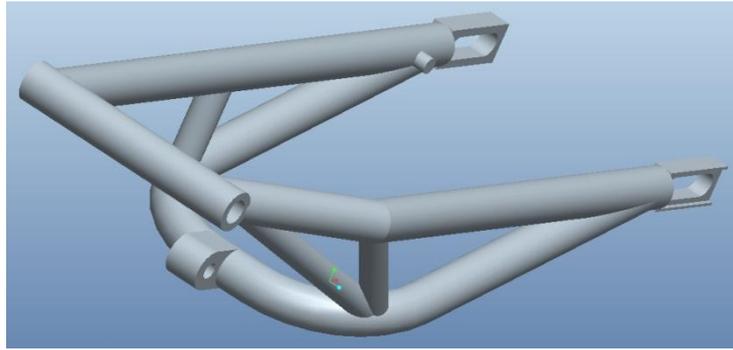
**Fig. 34 Basculante 4.0**



**Fig. 35 Basculante 5.0**

Se prepararon diferentes diseños con formas distintas para poder comparar más adelante si uno era mejor que otro o si de verdad merece la pena crear un sistema de triangulación complejo y difícil de construir teniendo unos resultados mucho mejores en cuestión de resistencia y a rigidez. De estas ideas salieron los basculantes 3, 4 y 5.

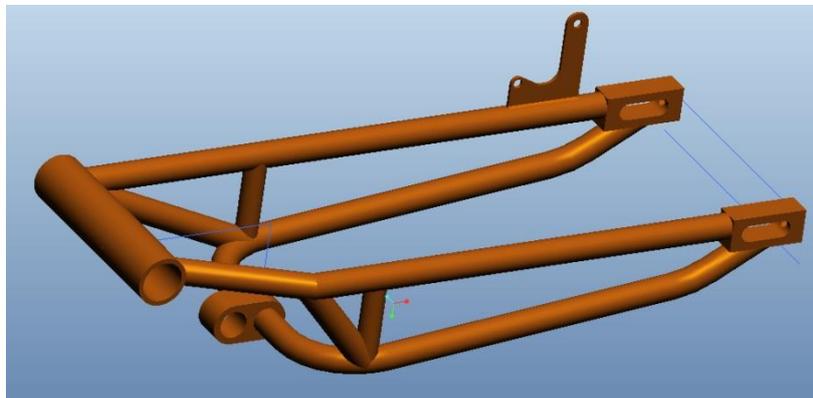
Este último obtuvo los mejores calificativos y por lo tanto se decidió en una optimización para después poder estudiarle por elementos finitos.



**Fig. 36 Basculante 6.0**

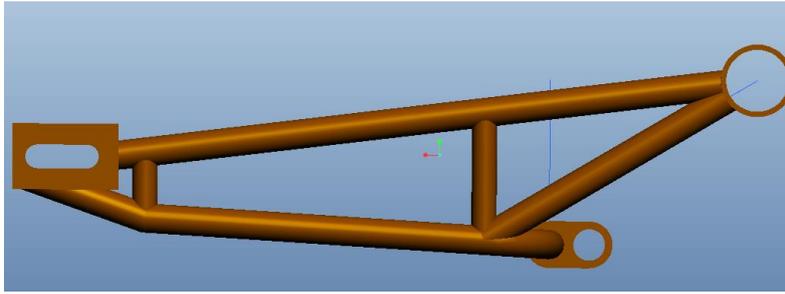
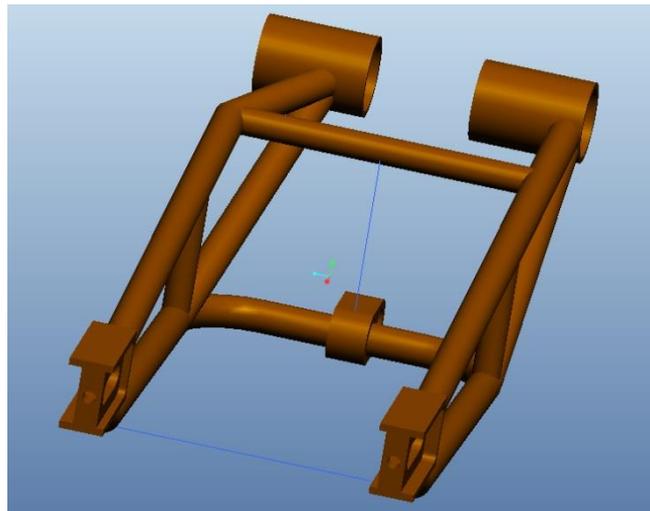
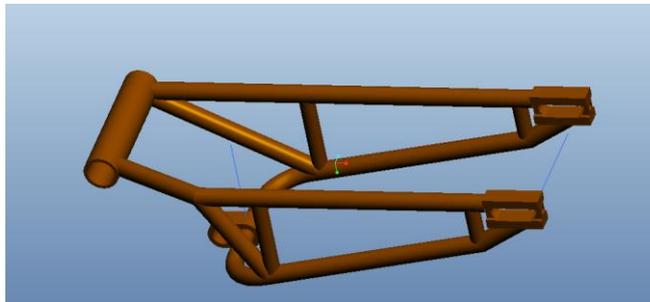
Los cambios más importantes se pueden observar en la unión entre las parte superior e inferior donde antes ambas barras no compartían punto de unión, ahora si lo hacen reforzando el conjunto, además del aumento del grosor de los tubos que proporciona una rigidez extra.

Ya teníamos encaminado lo que se pensaba más efectivo en cuanto a diseño, peso, resistencia y construcción. Se cambio la forma en la que acaba el basculante en la parte donde va el eje de la rueda, haciendo que las piezas donde este ira instalado formen parte del basculante soldándole la parte final de este y no como parte independiente que era en el anterior, así conseguimos que ese punto donde recibe los mayores esfuerzos transmitidos desde el terreno a la rueda y posteriormente al basculante se minimicen entre más elementos.



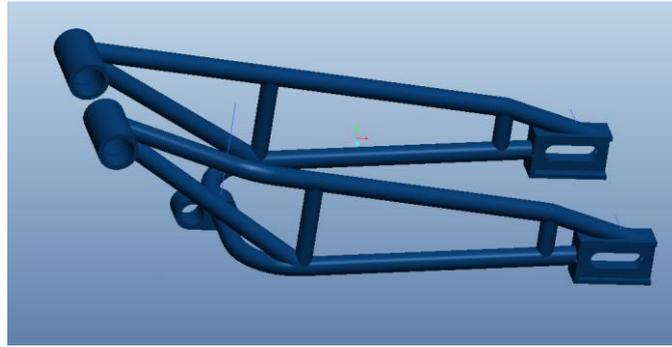
**Fig. 37 Basculante 7.0**

Y aquí se muestra uno de los últimos diseños efectuados y que cumple con los objetivos que se pusieron en el principio de este proyecto. A partir de aquí las modificaciones son menos significativas.

**Fig. 38 Basculante 8.0 Lateral****Fig. 39 Basculante 8.0****Fig. 40 Basculante 9.0**

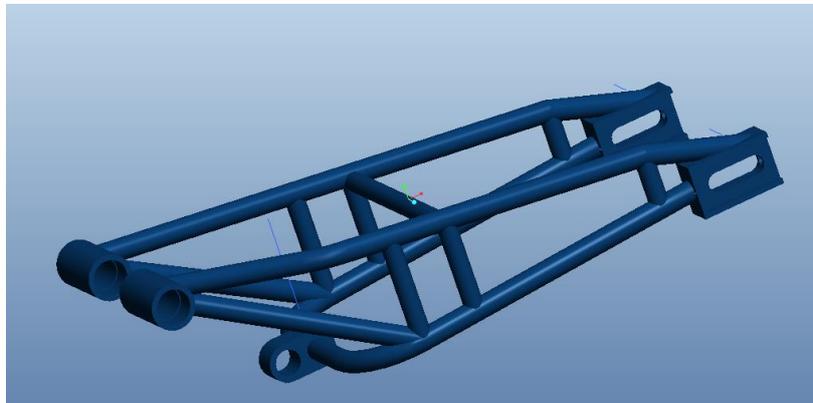
Tras formar varios conjuntos de las piezas que ya se estaban completando, nos dimos cuenta de que para poder incorporar el sistema de suspensión deseado se necesitaba de más altura para el anclaje al amortiguador. Además de la unión al chasis se tuvo siempre un par de versiones en el aire hasta concretar el cierre del sistema de suspensión, ambas partes iban desarrollándose en paralelo en el tiempo por lo que ambos dependían del otro. Esto no afectaba a la rigidez estructural del basculante.

Siempre se estaba pensando en mejorar estructuralmente el basculante, por lo que se probó a cambiar los refuerzos en la pieza mecanizada que soportaría el eje de la rueda, y se obtuvo un gran resultado consiguiendo mayor resistencia.



**Fig. 41 Basculante 10.0**

Para finalizar se le añadió un arco de refuerzo ya que en los últimos casos se había ido perdiendo resistencia en el conjunto por la reducción de espesores y diámetros y simplificación de tubos.



**Fig. 42 Basculante 11.0**

En el momento de cerrar surgió un problema con el proveedor de tubos (un patrocinador que se había obtenido) que se iba a tener para la construcción y se tubo que cambiar el diámetro y espesor de estos, así pues se rediseño el basculante, siguiendo las líneas que se habían estudiado anteriormente.

Otros cambios significativos es la unión de los tubos, en algunas zonas se utilizan terceros elementos para la conexión entre tubos, para así debilitar mucho menos el material al ser soldados, además es el método utilizado por nuestros compañeros en la fabricación de chasis y se nos demostró buenos resultados en los test de rigidez y flexión, además este basculante queda mas estético, importante cualidad que se debe cuidar como indicamos anteriormente.

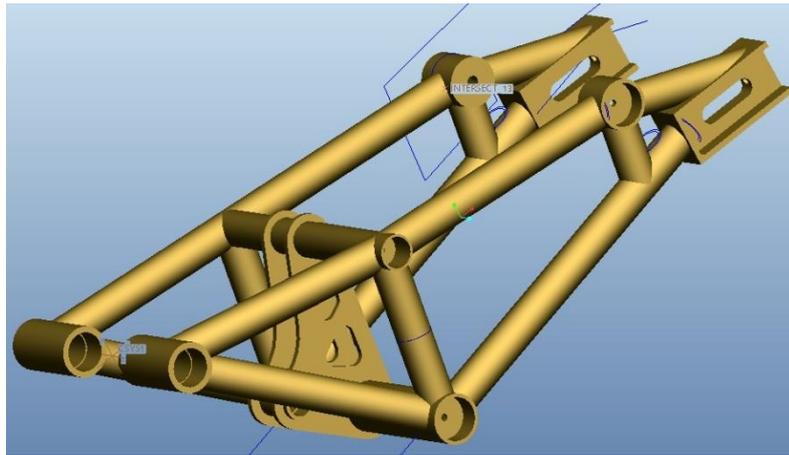


Fig. 43 Basculante 12.0

Este se puede decir que es el basculante que se propone para su construcción posteriormente.

Se pasan por muchos basculantes y a algunos se le somete a los esfuerzos acordados para ver los desplazamientos en todos los ejes y ver que están dentro de los parámetros esperados y así poder encaminarnos hacia un resultado final deseado, aunque no se muestren en este informe en forma de foto si habrá más adelante un cuadro resumen de estos.

## 5.2 ANALISIS DEL BASCULANTE POR ELEMENTOS FINITOS

El método de los elementos finitos (MEF) ha adquirido una gran importancia en la solución de problemas ingenieriles, físicos, etc., ya que permite resolver casos que hasta hace poco tiempo eran prácticamente imposibles de solucionar por métodos matemáticos tradicionales. Esta circunstancia obligaba a realizar prototipos, ensayarlos e irrealizando mejoras de forma iterativa, lo que traía consigo un elevado coste tanto económico como en tiempo de desarrollo.

El MEF permite realizar un modelo matemático de cálculo del sistema real, más fácil y económico de modificar que un prototipo. Sin embargo no deja de ser un método aproximado de cálculo debido a sus hipótesis básicas. Los prototipos, por lo tanto, siguen siendo necesarios, pero en menor número, ya que el primero puede acercarse bastante más al diseño óptimo.

La idea general del método de los elementos finitos es la división de un continuo en un conjunto de pequeños elementos interconectados por una serie de puntos llamados nodos. Las ecuaciones que rigen el comportamiento del continuo regirán también el del elemento. De esta forma se consigue pasar de un sistema continuo (infinitos grados de libertad), que es regido por una ecuación diferencial o un sistema de ecuaciones

diferenciales, a un sistema con un número de grados de libertad finito cuyo comportamiento se modela por un sistema de ecuaciones, lineales o no.

En cualquier sistema a analizar podemos distinguir entre:

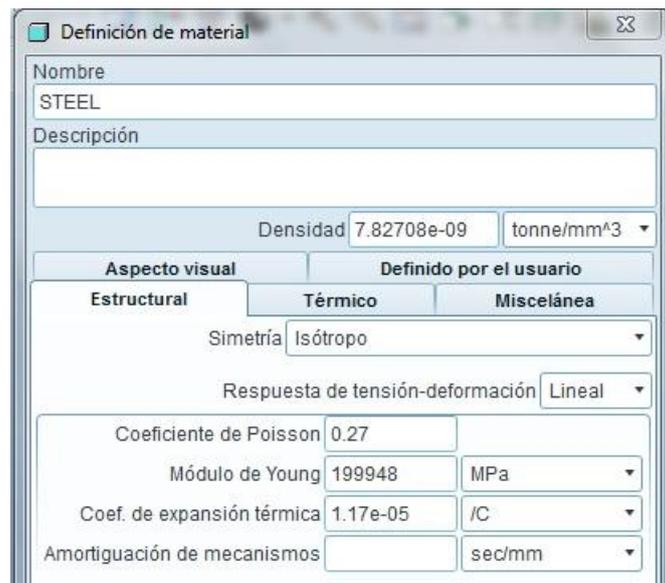
- Dominio. Espacio geométrico donde se va a analizar el sistema.
- Condiciones de contorno. Variables conocidas y que condicionan el cambio del sistema: cargas, desplazamientos, temperaturas, voltaje, focos de calor, etc.
- Incógnitas. Variables del sistema que deseamos conocer después de que las condiciones de contorno han actuado sobre el sistema: desplazamientos, tensiones, temperaturas, etc.

El dominio se divide mediante puntos (en el caso lineal), mediante líneas (en el caso bidimensional) o superficies (en el tridimensional) imaginarias, de forma que el dominio total en estudio se aproxime mediante el conjunto de porciones (elementos) en que se subdivide. Los elementos se definen por un número discreto de puntos (nodos), que conectan entre sí los elementos. Sobre estos nodos se materializan las incógnitas fundamentales del problema. En el caso de elementos estructurales estas incógnitas son los desplazamientos nodales, ya que a partir de estos podemos calcular el resto de incógnitas que nos interesen: tensiones, deformaciones, etc. A estas incógnitas se les denomina grados de libertad de cada nodo del modelo. Los grados de libertad de un nodo son las variables que nos determinan el estado y/o posición del nodo.

Planteando la ecuación diferencial que rige el comportamiento del continuo para el elemento, se llega a fórmulas que relacionan el comportamiento en el interior del mismo con el valor que tomen los grados de libertad nodales. Este paso se realiza por medio de unas funciones llamadas de interpolación, ya que estas ‘interpolan’ el valor de la variable nodal dentro del elemento.

El problema se formula en forma matricial debido a la facilidad de manipulación de las matrices mediante ordenador. Conocidas las matrices que definen el comportamiento del elemento (en el caso estructural serán las llamadas matrices de rigidez, amortiguamiento y masa, aunque esta terminología ha sido aceptada en otros campos de conocimiento) se ensamblan y se forma un conjunto de ecuaciones algebraicas, lineales o no, que resolviéndolas nos proporcionan los valores de los grados de libertad en los nodos del sistema.

Para el análisis por elementos finitos al programa además se le debe indicar un material, en nuestro caso elegimos acero, y como el programa venía uno predeterminado con unas características, decidimos no cambiarlas para estos análisis. Contamos con una resistencia de límite elástico de 672MPa para el material final utilizado, pero antes, con los primeros diseños contábamos con un material que tenía de límite elástico 970MPa.



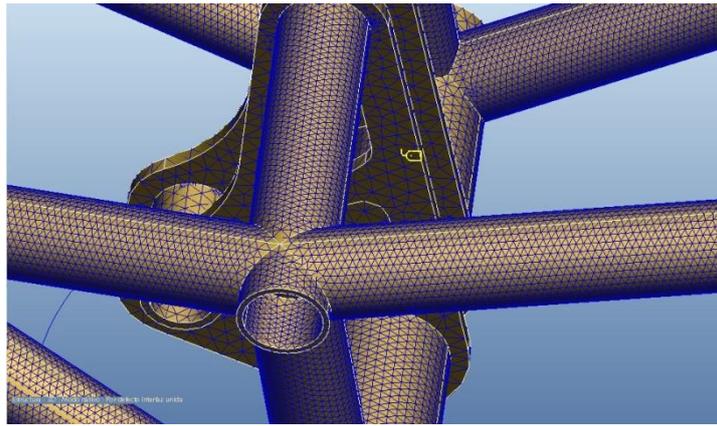
**Fig. 44 Características del acero**

El programa nos presenta dos opciones de análisis el Single-Pass Adaptive y el Multi-Pass Adaptive. Se ha realizado una comparativa entre ambos métodos para elegir el que mejor se adaptase a nuestras necesidades. Se entiende que el método Simple-Pass es más completo y exacto ya que utiliza un mallado más estricto en el modelo o consigue rigidizar menos el modelo. Lo podíamos comprobar gracias a las variaciones en las tensiones y en los desplazamientos viendo como para llegar a unos desplazamientos casi iguales se ha necesitado de mucha más tensión máxima para alcanzarlos con el Multi-Pass, y por supuesto se podría añadir el valor tiempo donde encontramos una variación de 10min que contemplaríamos como de segunda categoría así pues este sería el resumen de lo obtenido:

	VonMises (MPa)	Desplazamientos (x)	Tiempo (min)
Single-Pass	366.9	0.0485	5
Multi-Pass	335.9	0.0492	15
Variación	8.45%	1.42%	10

**Tabla 1 Comparativa MEF**

El mallado automático que nos propone el programa es el idóneo para trabajar por su eficacia apreciable en los modelos analizados por el tiempo que nos reduce no tener que ir mallando zonas sensibles una por una en cada geometría propuesta, aun así en el último modelo se realizó un mallado más detallado en la zona de máximos y no se apreciaron datos diferentes al mallado automático.



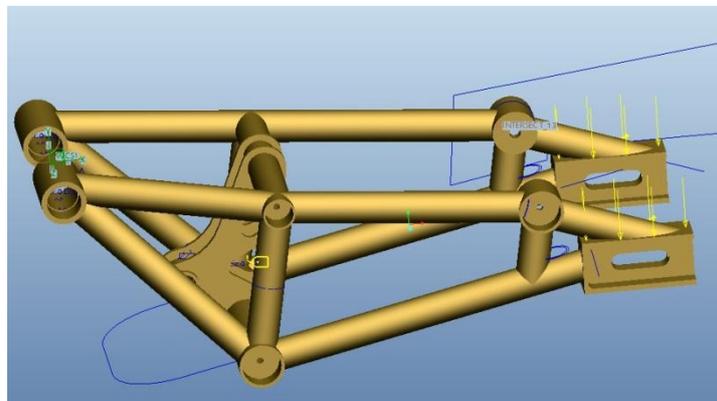
**Fig. 45 Detalle del mallado del basculante**

Para que todo este estudio tenga validez en la comparativa, los basculantes propuestos siempre serán sometidos a las mismas restricciones que son:

En el eje del basculante-unión chasis y motor se le coloca una restricción de tipo Pin bloqueando el movimiento de translación y permitiendo el de rotación alrededor del eje de este.

En el anclaje del sistema de suspensión al basculante recibe una restricción total del movimiento.

La forma de colocación de las cargas es la siguiente:



**Fig. 46 Análisis MEF**

Donde se le aplica a las superficies de ambos patines (pieza donde va situado el eje de la rueda y existe el contacto con el asfalto) de 2000N (masa estipulada de la moto + masa del piloto mas un coeficiente de seguridad de 1.2)

“Pre-diseño de basculantes y selección para la suspensión de una motocicleta de competición”

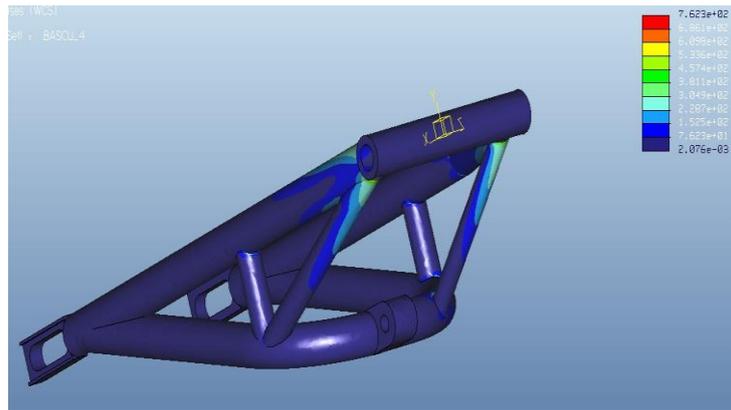


Fig. 47 Elementos finitos basculante 5.0

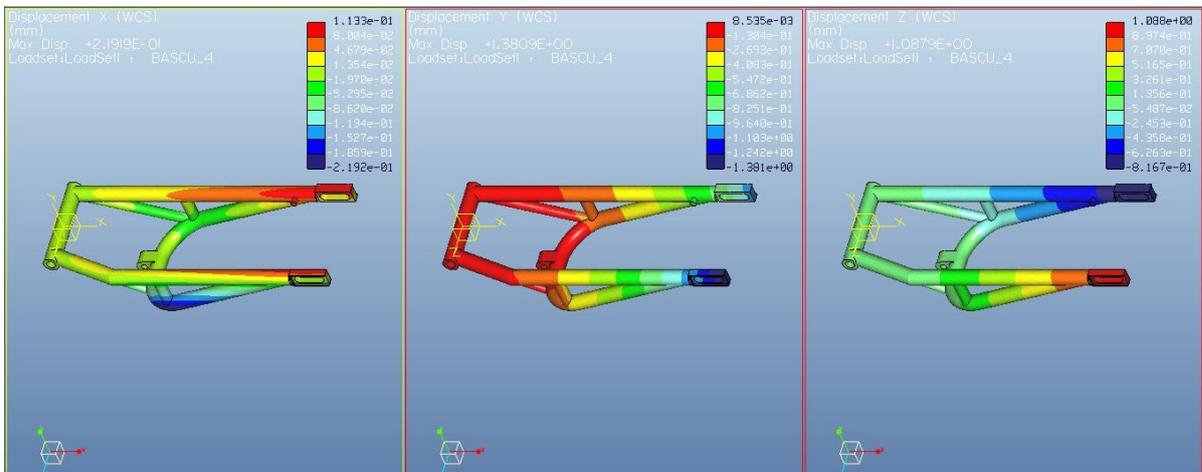


Fig. 48 Desplazamientos basculante 5.0

Esta fase fue la que determinó que cambios eran los buenos pero no lo suficientes para darnos seguridad.

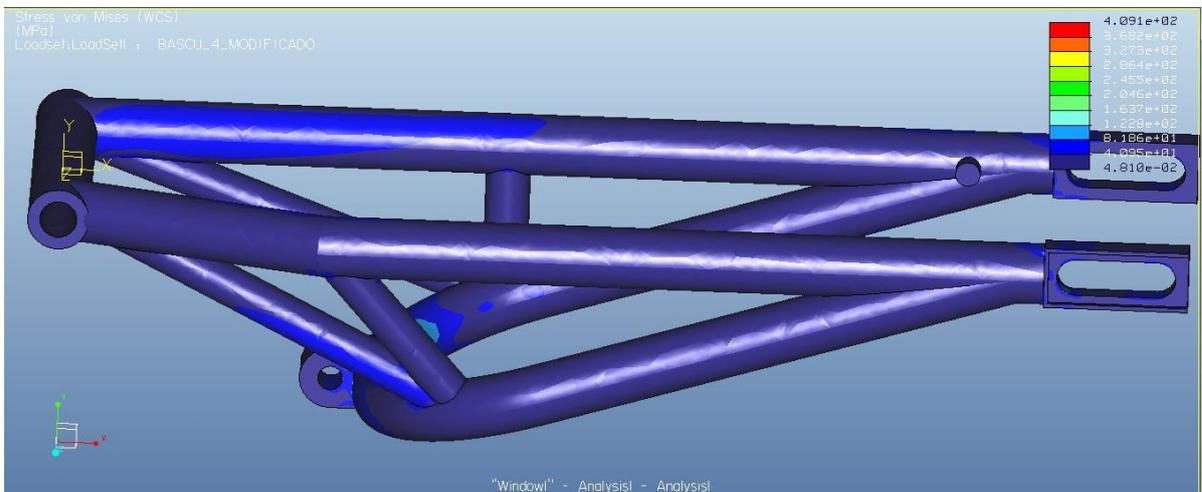


Fig. 49 Elementos finitos basculante 6.0

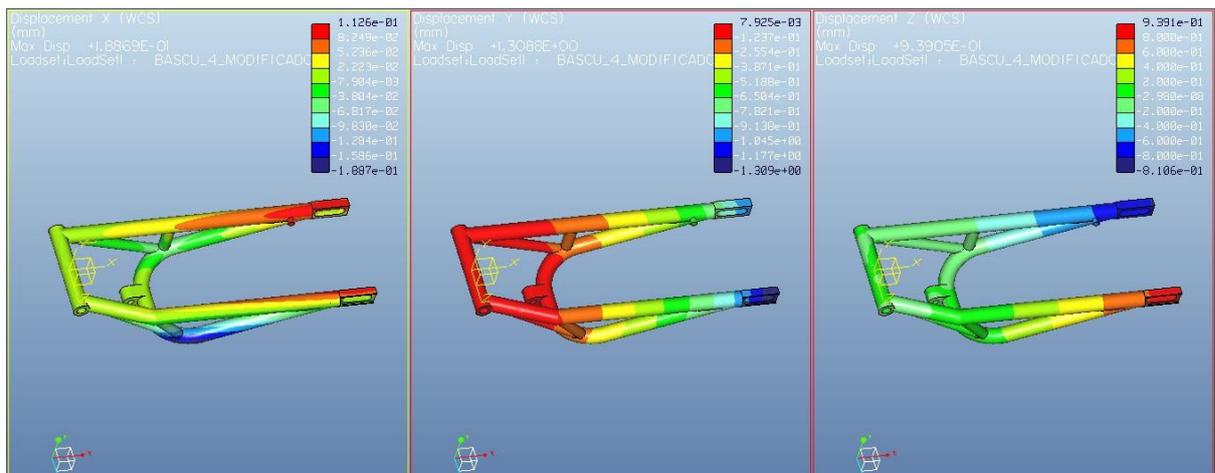


Fig. 50 Desplazamientos Basculante 6.0

Se muestran algunos de los análisis hechos, se debe tener en cuenta que en los primeros diseños no se realizaron estos análisis por que directamente muchos de ellos fueron rechazados horas después de hacerlos por evidentes fallos de diseño.

Además de fijarnos en la resistencia del material por el método de Von Mises se controlara los desplazamientos en todos los ejes (X, Y, Z) para ver que entran dentro de la normalidad y sus desviaciones no son superiores a valores críticos que harían que el diseño quedase descartado.

Este por ejemplo tendríamos un coeficiente de seguridad de valor:

$$c. e = \frac{R}{\sigma_{max} * S_1}$$

R es el límite elástico del material para este caso 970MPa

$\sigma_{max}$  Tensión máxima en el modelo

$S_1$  es un coeficiente de mayoración para dicha tensión. En este caso se ha utilizado 1,15.

$$c. e = \frac{R}{\sigma_{max} * S_1} = 2.05$$

“Pre-diseño de basculantes y selección para la suspensión de una motocicleta de competición”

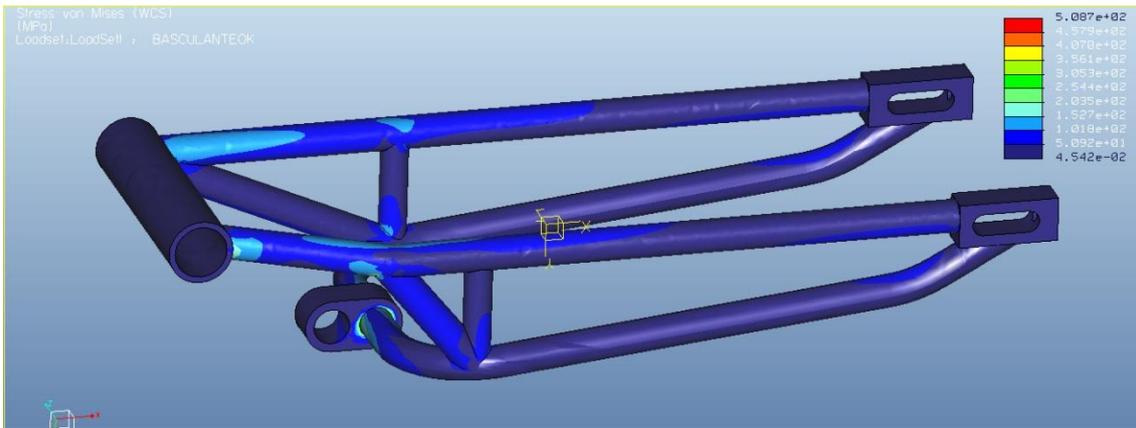


Fig. 51 Elementos finitos basculante 7.0

$$c.e = \frac{R}{\sigma_{max} * S_1} = 1.68$$

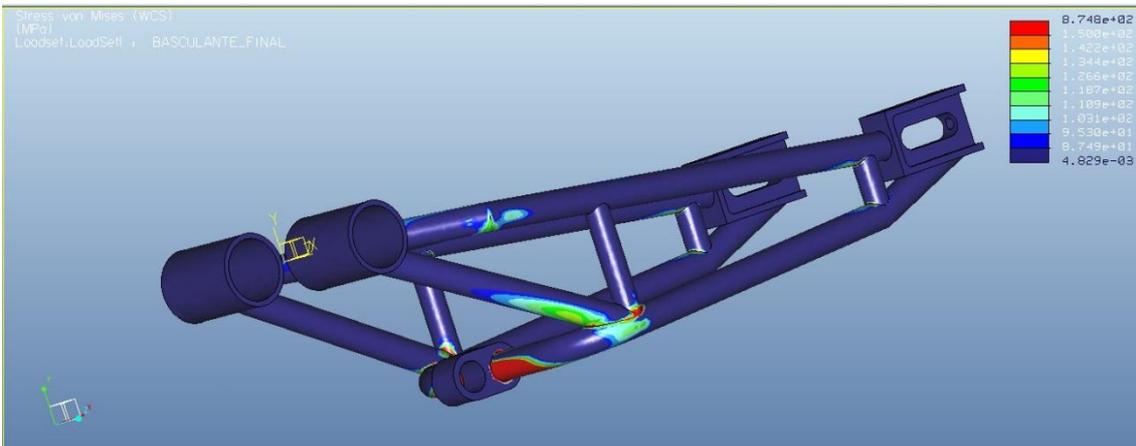


Fig. 52 VonMises Basculante 8.0

$$c.e = \frac{R}{\sigma_{max} * S_1} = 0.96 \text{ Rechazado}$$

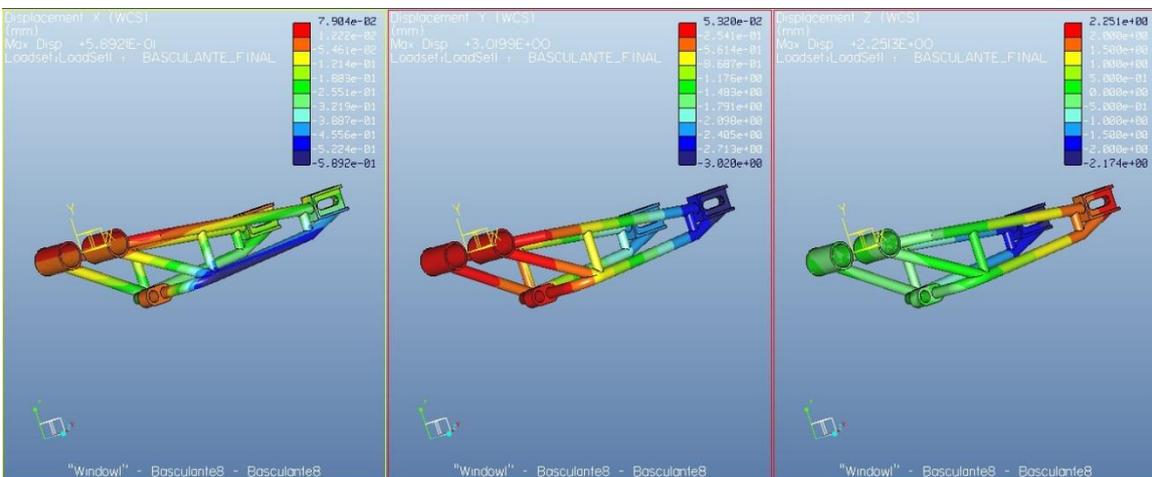


Fig. 53 Desplazamientos Basculante 8.0

“Pre-diseño de basculantes y selección para la suspensión de una motocicleta de competición”

Con los diferentes modelos vemos cuales son las partes o zonas donde se concentran mayores tensiones (unión de tubos en la parte delantera) y se intenta corregir con las modificaciones. Se debe tener en cuenta los valores de la escala y no los colores ya que cada estudio se varía la escala y por tanto puede dar a error comparar los colores.

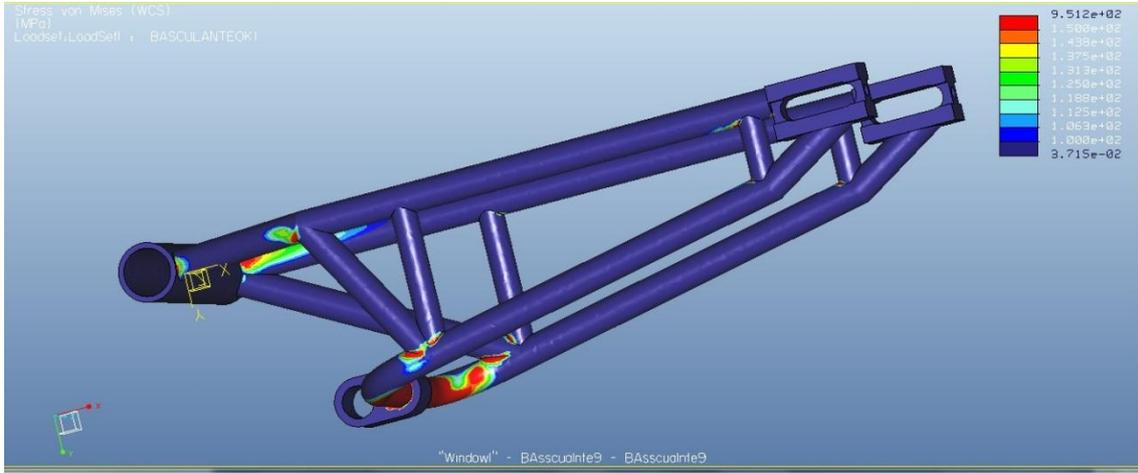


Fig. 54 VonMises Basculante 9.0

$$c. e = \frac{R}{\sigma_{max} * S_1} = 0.88 \text{ rechazado}$$

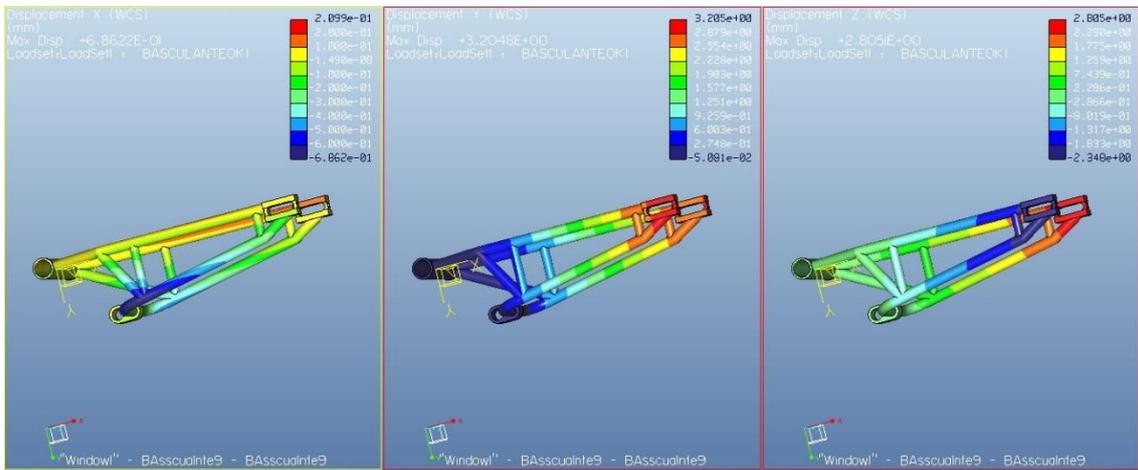


Fig. 55 Desplazamientos Basculante 9.0

“Pre-diseño de basculantes y selección para la suspensión de una motocicleta de competición”

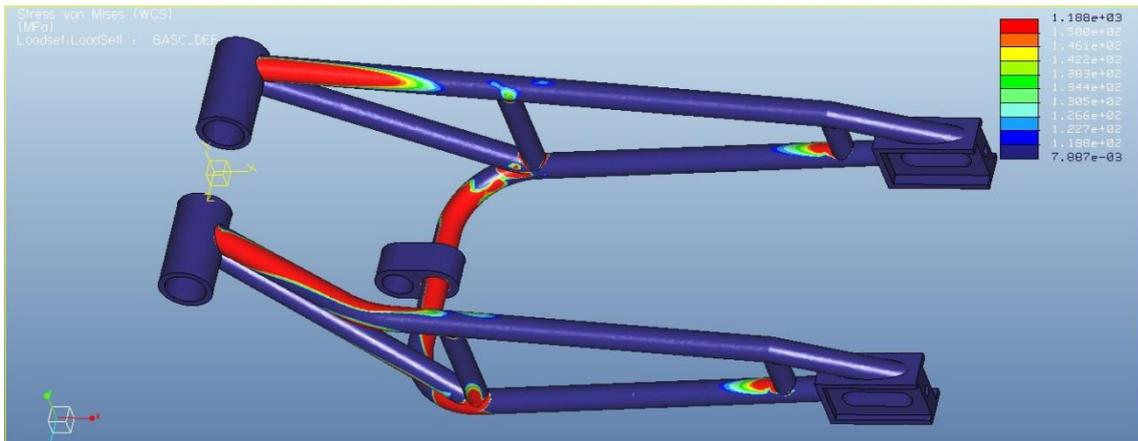


Fig. 56 Von Mises Basculante 10.0

$$c.e = \frac{R}{\sigma_{max} * S_1} = 0.76 \text{ rechazado}$$

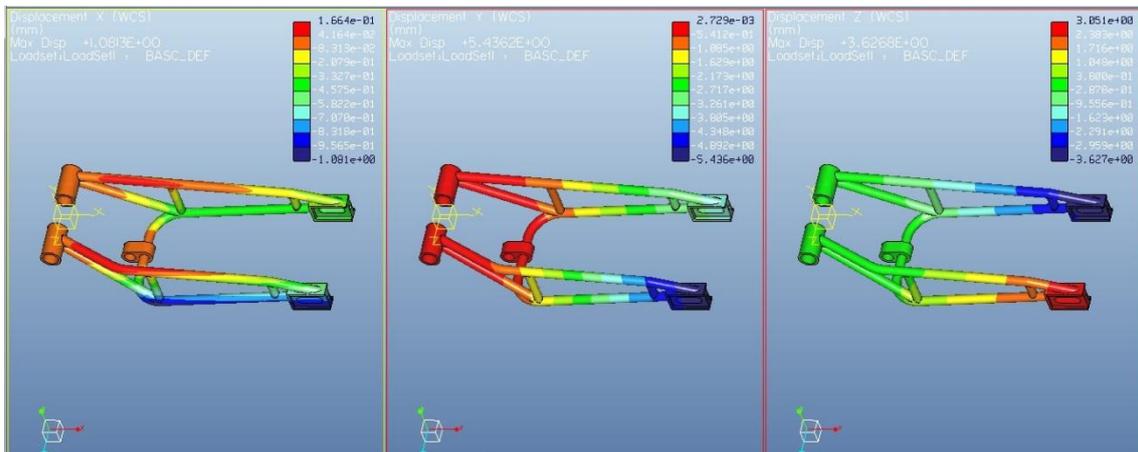


Fig. 57 Desplazamientos Basculante 10.0

Se estaba apurando demasiado en los diseños por el uso de tubos de menos diámetro y menor material, lo que nos hacía perder el coeficiente de seguridad necesario para la viabilidad del modelo a construir.

“Pre-diseño de basculantes y selección para la suspensión de una motocicleta de competición”

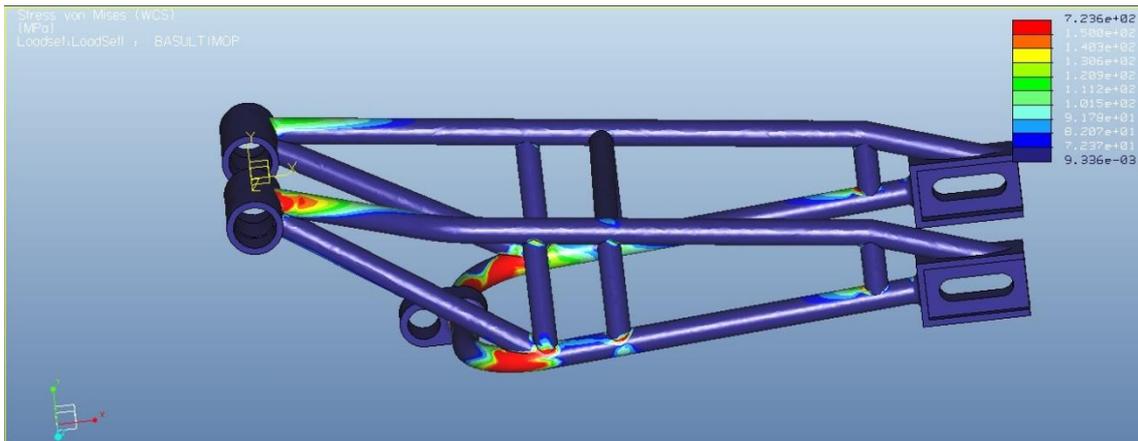


Fig. 58 Von Misses Basculante 11.0

$$c. e = \frac{R}{\sigma_{max} * S_1} = 1.16$$

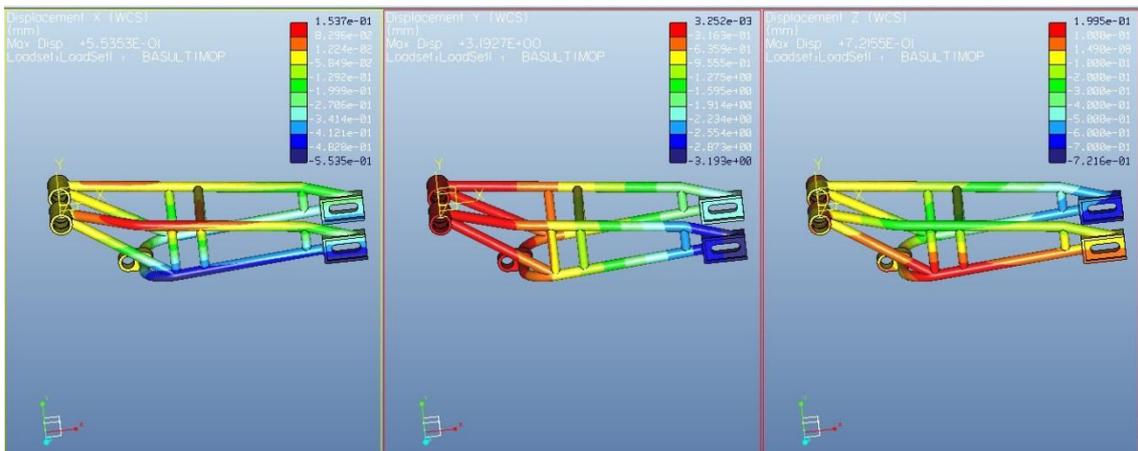


Fig. 59 Desplazamientos Basculante 11.0

El último basculante se realizó mediante ambos estudios que indicamos anteriormente (Single-Pass y Multi-Pass) para poder dar datos mucho más contrastados. Mostramos el Multi-Pass por ser más exacto debido al mayor número de iteraciones que realiza para la obtención del resultado. Se recuerda que ahora el material a utilizar no era el acero de los primeros modelos, sino uno con límite en 672MPa

“Pre-diseño de basculantes y selección para la suspensión de una motocicleta de competición”

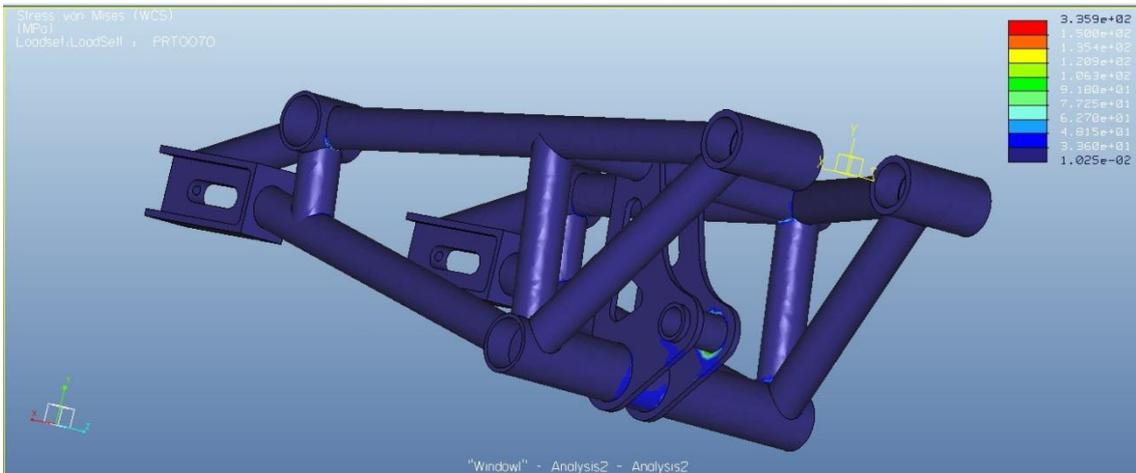


Fig. 60 Von Mises Basculante 12.0



Fig. 61 Desplazamientos Basculante 12.0

Como se puede observar en los resultados, se consigue reducir mucho las cargas en las uniones de tubos haciendo que la forma de unión sea una superficie de mayor diámetro y no la de solo el tubo de diámetro de construcción.

Se obtiene un coeficiente de seguridad de:

$$c. e = \frac{R}{\sigma_{max} * S_1} = \frac{672}{335.9 * 1.15} = 1.74$$

### 5.3 DISEÑO FINAL DEL BASCULANTE

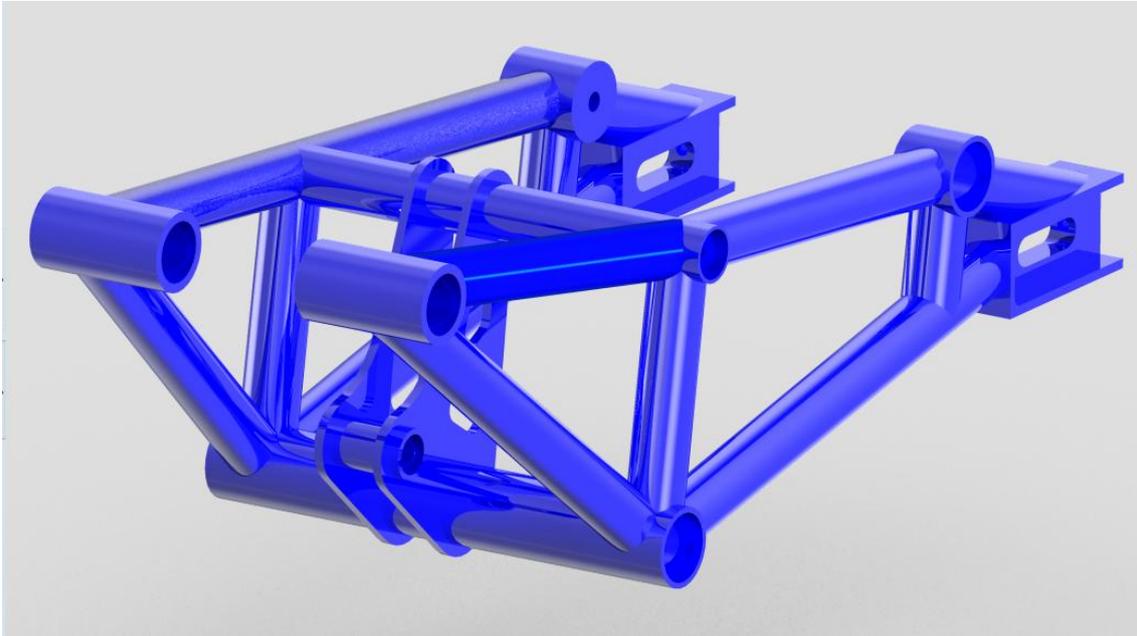


Fig. 62 Basculante final I

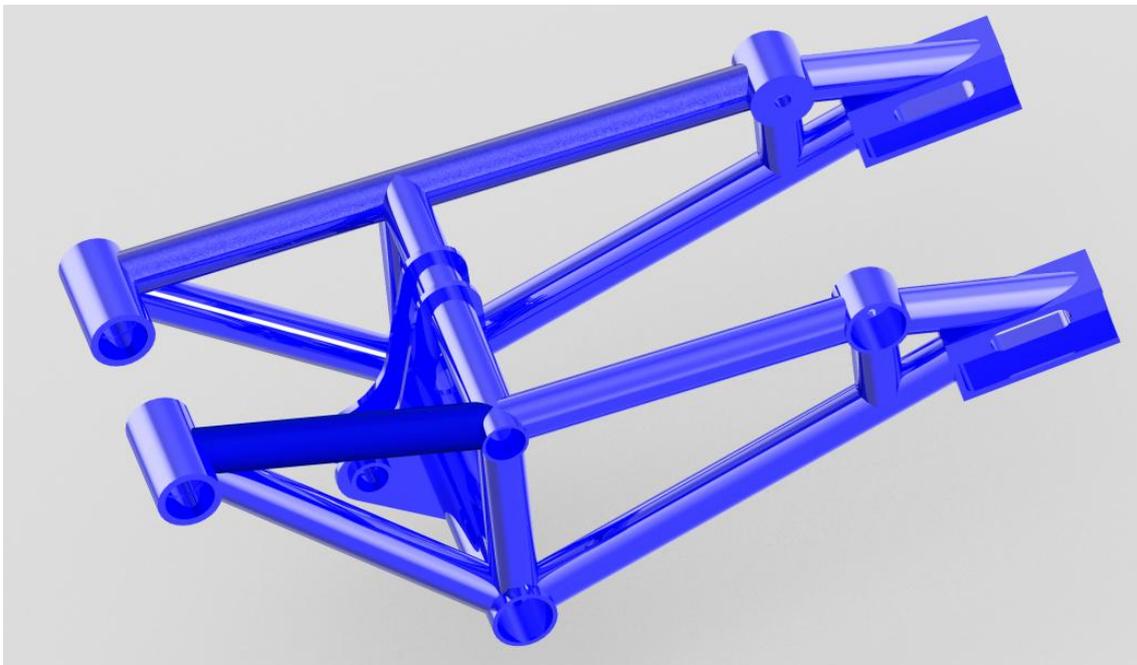


Fig. 63 Basculante final II

### 5.3.1 DATOS DEL BASCULANTE

VOLUMEN = 9.6925706e+05 MM<sup>3</sup>  
 ÁREA DE SUPERFICIE = 6.6614799e+05 MM<sup>2</sup>  
 DENSIDAD = 7.8270800e-06 KILOGRAMO / MM<sup>3</sup>  
 MASA = 7.5864526e+00 KILOGRAMO

CENTRO DE GRAVEDAD respecto al cuadro de coordenadas \_PRT0070:  
 X Y Z 2.6509346e+02 -8.0601465e+01 1.0302717e+01 MM

INERCIA con relación al cuadro de coordenadas \_PRT0070: (KILOGRAMO \* MM<sup>2</sup>)

TENSOR DE INERCIA:

Ixx Ixy Ixz 1.4795497e+05 1.7998426e+05 -2.5794421e+04  
 Iyx Iyy Iyz 1.7998426e+05 8.4665919e+05 7.5196660e+03  
 Izx Izy Izz -2.5794421e+04 7.5196660e+03 8.4555616e+05

INERCIA en el CENTRO DE GRAVEDAD con relación al cuadro de coordenadas  
 \_PRT0070: (KILOGRAMO \* MM<sup>2</sup>)

TENSOR DE INERCIA:

Ixx Ixy Ixz 9.7863576e+04 1.7885120e+04 -5.0744311e+03  
 Iyx Iyy Iyz 1.7885120e+04 3.1271943e+05 1.2197690e+03  
 Izx Izy Izz -5.0744311e+03 1.2197690e+03 2.6313555e+05

MOMENTOS PRINCIPALES DE INERCIA: (KILOGRAMO \* MM<sup>2</sup>)

I1 I2 I3 9.6225571e+04 2.6328245e+05 3.1421053e+05

MATRIZ DE ROTACIÓN de la orientación \_PRT0070 a los EJES PRINCIPALES  
 (en grados):

0.99612	-0.03207	-0.08201
-0.08247	-0.01306	-0.99651
0.03089	0.99940	-0.01565

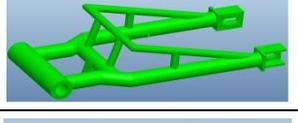
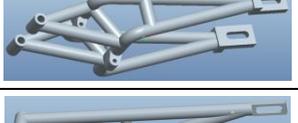
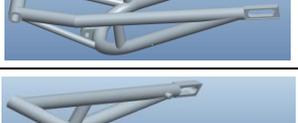
ÁNGULOS DE ROTACIÓN de la orientación \_PRT0070 a los EJES PRINCIPALES  
 (en grados):

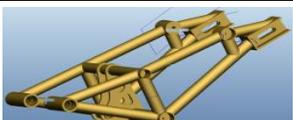
ángulos alrededor de x y z 90.900 -4.704 1.844

RADIOS DE GIRO con relación a los EJES PRINCIPALES:

R1 R2 R3 1.1262268e+02 1.8629088e+02 2.0351246e+02 MM

TABLA 2: RESULTADOS

Nº	FOTO	LONGITUD (mm)	TENSIÓN VONMISSES (MPa)	DESPLAZAMIENTO EN X (mm)	DESPLAZAMIENTO EN Y (mm)	DESPLAZAMIENTO EN Z (mm)	MASA (kg)	COEFICIENTE DE SEGURIDAD	FABRICACIÓN
1		590	-	-	-	-	-	-	Fácil
2		597	-	-	-	-	-	-	Fácil
3		558.575	178	0.0234	0.01	0.28	15.3	4.75	Medio
4		531.5	452	-0.32	-1.15	0.98	9.85	1.86	Difícil
5		495	343	-0.2192	-1.381	1.088	3.78	2.45	Medio
6		495	409	-0.1889	-1.30	0.939	3.88	2.05	Fácil

Nº	FOTO	LONGITUD (mm)	TENSIÓN VONMISSES (MPa)	DESPLAZAMIENTO O EN X (mm)	DESPLAZAMIENTO EN Y (mm)	DESPLAZAMIENTO EN Z (mm)	MASA (kg)	COEFICIENTE DE SEGURIDAD	FABRICACIÓN
7		508.650	915	-0.631	-3.12	2.15	3.48	0.92	Medio
8		508.650	874	-0.5892	-3.02	2.25	3.57	0.96	Medio
9		510.078	951	-0.686	3.205	2.805	3.08	0.88	Difícil
10		518.485	750	-1.091	-5.436	-3.627	3.14	0.76	Medio
11		518.485	539	-0.553	-3.19	-0.721	4.12	1.16	Difícil
12		518.679	335.9	-0.089	-0.49	-0.159	7.58	1.74	Medio



# **6. EVOLUCIÓN DE LAS PROPUESTAS DE SUSPENSIÓN TRASERA**

## **6.1 SELECCIÓN SUSPENSIÓN TRASERA**

No hay una fórmula que nos indique que tipo de suspensión es la que mejor nos va, si no que hay varios factores que influyen en la elección, como pueden ser el confort ante pequeños baches, almacenamiento de energía en el bache (importante que no haya rebotes) aunque en esta competición se nos limita el uso del amortiguador al proporcionado por la organización se nos acota la elección. El piloto es un factor muy importante, ya que no responde cada persona igual a las reacciones de la moto.

A la hora de elegir el sistema de suspensión adecuado, tuvimos en cuenta los siguientes factores de comparación:

- **Peso del sistema:** valoraremos aquel que menos pese, pero no es el requisito más importante, ya que la motocicleta debe llegar a tener un peso mínimo de 95 kg, así que daremos más importancia a otros factores
- **Masa no suspendida.** Interesa que sea la mínima posible.
- **Integridad estructural.** ¿Es suficientemente rígido y resistente?
- **Características de la constante de muelle y de amortiguación.** ¿Cómo varía la constante con la compresión de la suspensión? Tenemos que valorar que comportamiento de la moto nos interesa, adecuándolo según las características del muelle que tenemos.
- **Compacidad.** Normalmente el espacio es un factor de gran importancia, especialmente en la actualidad, con airbox de gran capacidad, etc. Va a ser uno de los factores más importantes a tener en cuenta, ya que es una zona complicada, en la que puede haber muchos conflictos con el espacio (paso de la cadena, zona de anclaje del amortiguador...)
- **El número de articulaciones.** Cada una es una fuente de rozamiento y holguras, ambas cosas van en detrimento del buen comportamiento de la suspensión. Por este motivo es conveniente minimizar el número de articulaciones del sistema. Aunque no siempre es uno de los puntos más importantes a seguir.

## 6.2 CONEXIÓN DIRECTA CHASIS-BASCULANTE

En primer lugar, tenemos el amortiguador colocado directamente entre el basculante y el chasis, sin ningún tipo de bieleta:

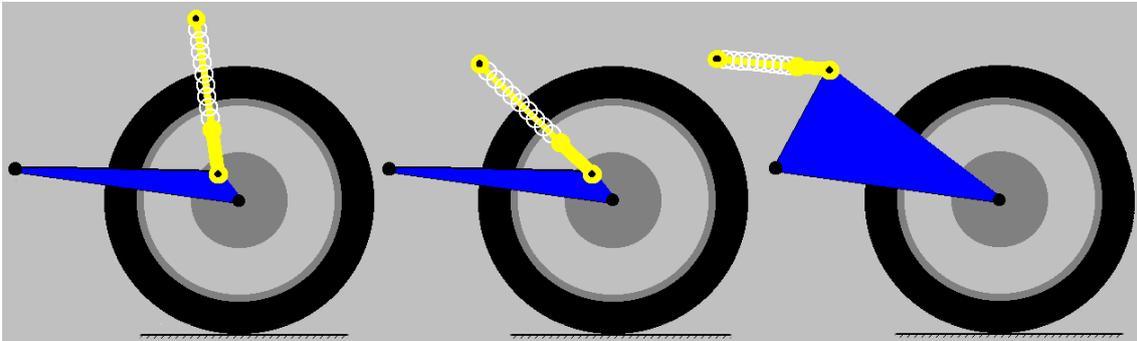


Fig. 64 Suspensión directa chasis-basculante

En la imagen de la izquierda, vemos el amortiguador situado casi en el eje trasero de la rueda (standard), y de forma bastante vertical. En medio podemos observar el amortiguador anclado en la misma zona del basculante, pero esta vez de forma más inclinada (angled) y por último, tenemos el amortiguador prácticamente horizontal, y más elevado que los dos casos anteriores (cantilever). Para que sea comparativo, se han arreglado los parámetros para que tengan el mismo recorrido de suspensión, la misma capacidad de absorción de energía y la misma cantidad de sag (hundimiento del muelle).

## 6.3 SISTEMA BÁSICO DE BIELETAS

A continuación vamos a ver el comportamiento de la suspensión con bieletas y balancines. Hay muchas formas distintas y muchas veces se trata simplemente de las condiciones de espacio disponible lo que determina la disposición exacta. En general, es posible lograr características similares con cualquier disposición mediante la selección de las dimensiones adecuadas de los componentes principales. A continuación, tres ejemplos de una infinidad de diseños:

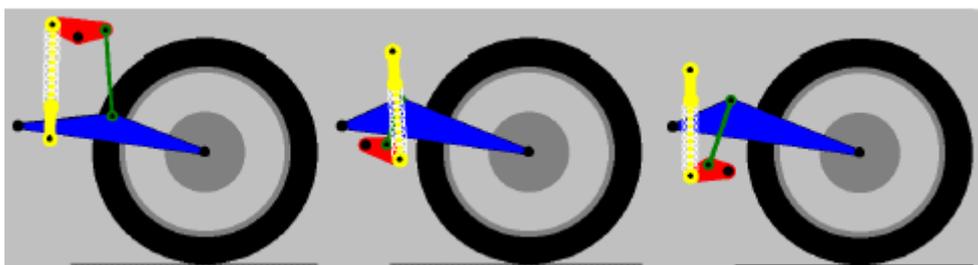


Fig. 65 Suspensión por bieletas

Para ver cómo influyen algunos pequeños cambios en la configuración de este tipo de amortiguaciones vamos a estudiar el siguiente ejemplo:

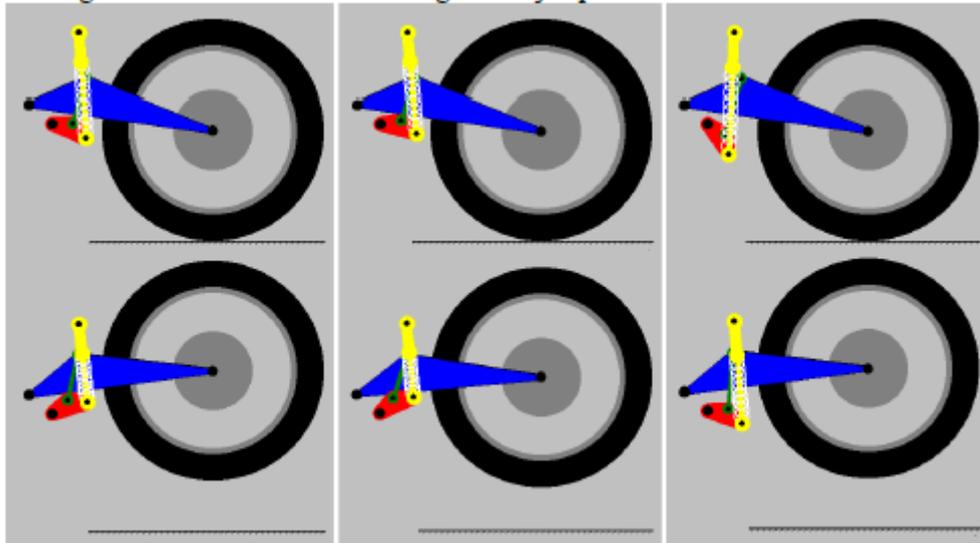


Fig. 66 Posiciones de bieletas

En primer lugar, tenemos la posición básica, en medio, el rocker a rotado debido a que se ha acortado la longitud del link y del amortiguador (para mantener la posición del piloto) y a la derecha el rocker ha girado en sentido contrario a la anterior (alargando el link y el amortiguador). Las ilustraciones inferiores muestran las suspensiones en su momento de compresión máxima.

Esto pone de manifiesto que el caso con el amortiguador y el enlace más cortos tienen un carácter altamente progresista que realmente surte efecto a partir de unos 90 mm. De compresión. Es interesante observar que al modificar alargando el link y el amortiguador se pierden estas características tan progresivas, se suaviza la curva. Para ver por qué las características cambian tanto en el caso a la izquierda tenemos que mirar más de cerca la posición oscilante hacia el final del movimiento.

#### 6.4 SISTEMA DE BIELETAS CON EL BALANCIN SITUADO EN EL BASCULANTE

Por último, tenemos el caso en el que el rocker o balancín está montado directamente sobre el basculante. En la siguiente figura se puede ver una configuración con pequeñas variaciones:

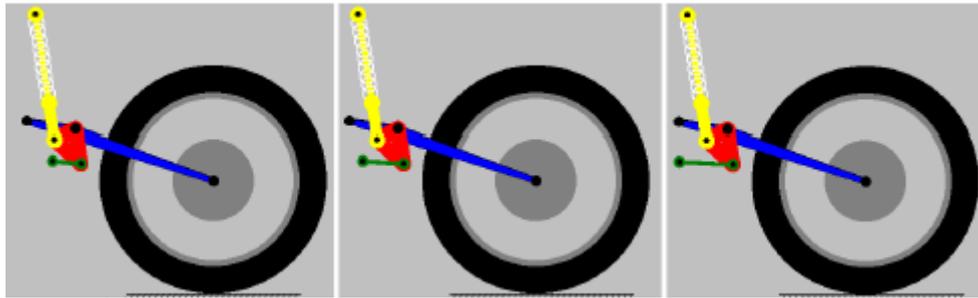


Fig. 67 Balancín en el basculante

Como ejemplo de esta clase de suspensión de diseño vamos a considerar un diseño especial, similar al utilizado en algunas Hondas. Para tener una idea de cómo las características se pueden ajustar en un rango amplio, la única diferencia entre los tres casos es la longitud del enlace y su lugar de montaje.

## 6.5 SISTEMA BRITTEN

Como se expuso anteriormente es uno de los sistemas de suspensión trasera más innovadores, ya que mediante un tirante central se transmite el mecanismo de bieletas y balancín a la parte delantera de la motocicleta.

Se puede observar como la forma de amortiguar el movimiento de la rueda es igual que en los otros sistemas explicados anteriormente, solo que esta vez sea a trasladado a una parte delantera donde centralizar masas y despejar el hueco de la parte trasera que tanto hace falta para la construcción de un air box



Fig. 68 Suspensión Britten

## 6.6 COMPORTAMIENTO BUSCADO

La elección del sistema deseado se antoja complicada, no hay una fórmula que nos diga cuál es la mejor solución para nuestro caso. La amortiguación de la moto no tiene la única función de aislar la moto y el piloto de los baches, sino que plantea otras muchas demandas, por ejemplo, en una curva el piloto y la moto sufren una carga adicional de

entorno al 50% incluso en una carretera perfectamente lisa, también existen efectos de transferencia de carga tanto en frenada como en aceleración e incluso una moto puede tener que estar preparada para amortiguar un salto, y que todo ello sea de la forma más cómoda posible para el piloto.

A la hora del diseño, el factor más importante a tener en cuenta va a ser la constante efectiva de la rueda, que es lo que refleja el comportamiento de la suspensión, y de la moto en definitiva, a la hora de tomar un bache o recibir simplemente una fuerza en la rueda.

No es fácil saber cuál es la constante efectiva buscada, ya que esto se basa en la experiencia, en hacer algo, probarlo y ver cómo funciona, viene a ser el clásico prueba-error.

Si que nos podemos hacer una idea de lo que buscamos, pero encontrar el valor exacto requiere tiempo y experiencia. Para empezar, vamos a tomar una motocicleta de referencia y vamos a estudiar su comportamiento estático, con lo que intentaremos aproximar nuestro valor de la constante al calculado.

Para ello tenemos que tomar como referencia una motocicleta similar a la que queremos construir. Las motos comerciales están diseñadas para que sean cómodas y fáciles de conducir, mientras que en las de competición se busca más agresividad aunque el manejo sea más complicado.

La motocicleta que tomamos como referencia es la Honda RS 125, además de otras de calle que hemos ido observando.

## **6.7 SISTEMA DE SUSPENSION FINAL TUL-ARIS**

Después de muchas vueltas y de ver como quedaban los diferentes sistemas en ordenador, que se vieron anteriormente explicados, se decide implementar este sistema montado en una motocicleta prototipo muy particular.



**Fig. 69 Sistema suspensión Tularis**

Esta es una motocicleta que desarrollo Robin Tuluie con un motor bicilindrico de 2t y 772cc que produce 183cv de potencia a 8700rpm con un peso de 119kg.

Con un chasis auto portante Robin no tenia forma física de sujetar el amortiguador trasero de forma convencional al chasis. Por lo queideo este sistema que nosotros ahora queremos implementar en nuestra motocicleta para Motostudent.



**Fig. 70 Motocicleta con sistema de suspensión elegido**

Su funcionamiento se puede entender mejor con el esquema que se representa mas abajo. El sistema Tularis se basa en utilizar elementos de flexión controlada en dos dimensiones tanto sentido horizontal como vertical, permitiendo absorber cualquier desalineamiento producido por la flexión del basculante y/o del chasis. La flexión puede

producir roturas debido a la fatiga del material y por lo tanto el diseño, de la bieleta es de extrema importancia, ya que una rotura podría acarrear serias consecuencias.

Únicamente con el empleo de modernos ensayos y métodos de análisis mediante ordenador, se puede ahora diseñar este tipo de componentes con tranquilidad.

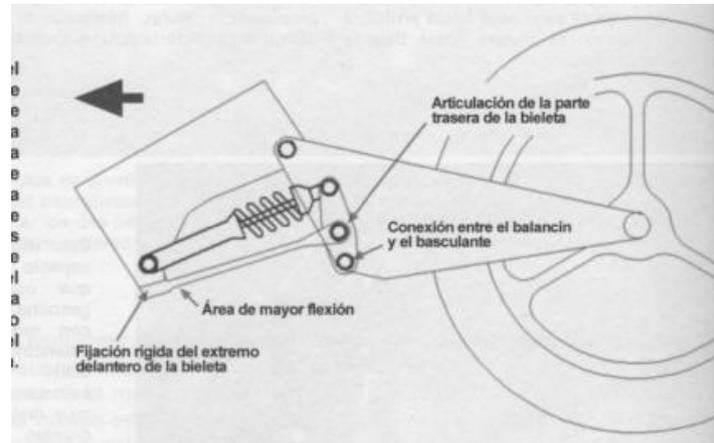


Fig. 71 Esquema suspensión Tularis

El modelo en Proengineer que obtenemos es este:

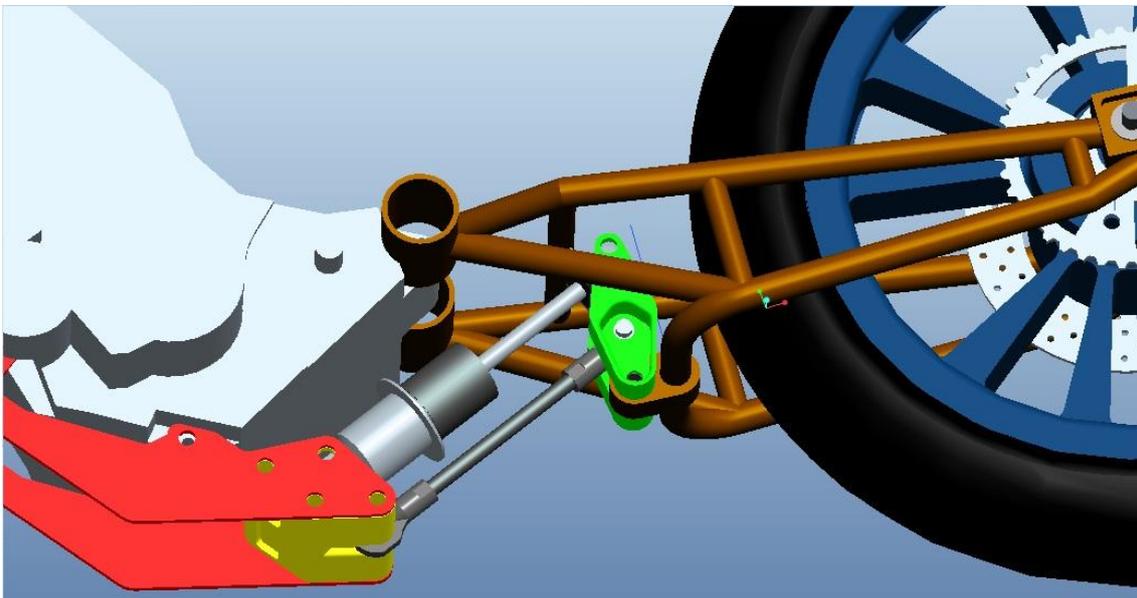


Fig. 72 Sistema de suspensión

Para la puesta a punto de este sistema de suspensión se tomo ayuda del programa Working Models, el cual es muy básico, pero que resulta muy práctico para estos cálculos de mecanismos y representaciones de graficas del movimiento de forma rápida y fiable.

Tabla 4. Características amortiguador trasero

Suspensión trasera	
Tipo	Basculante (suspensión articulada)
Tipo de muelle/amortiguador	Muelle helicoidal/amortiguador de aceite
Recorrido del conjunto de amortiguador trasero	54.0 mm (2.13 in)
Longitud libre del muelle	162.0 mm (6.38 in)
Longitud montada	155.0 mm (6.10 in)
Tensión del muelle K1	103.00 N/mm (588.13 lb/in) (10.50 kgf/mm)
Carrera del muelle K1	0.0–54.0 mm (0.00–2.13 in)
Muelle opcional disponible	No

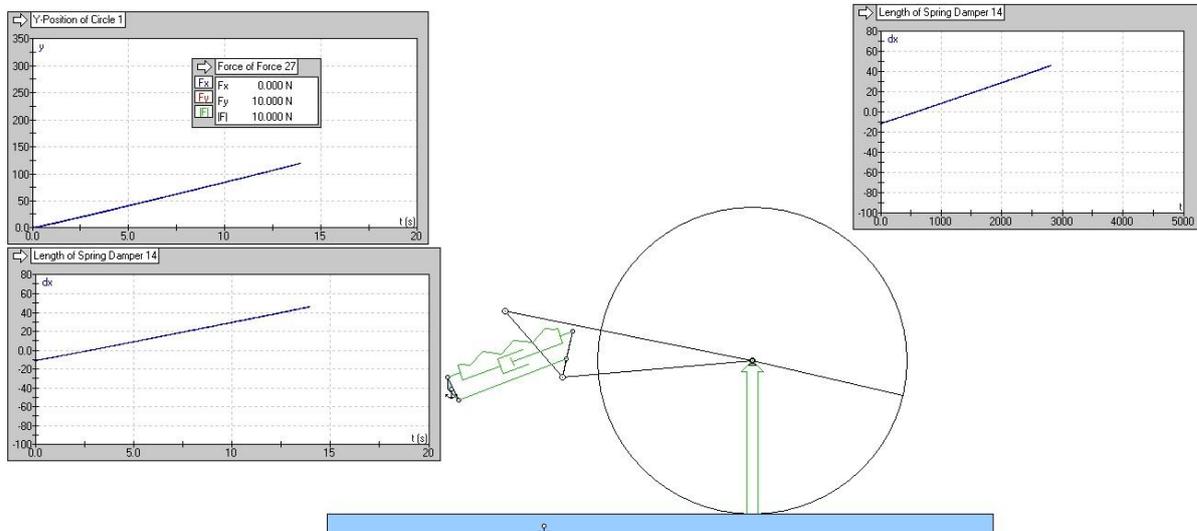


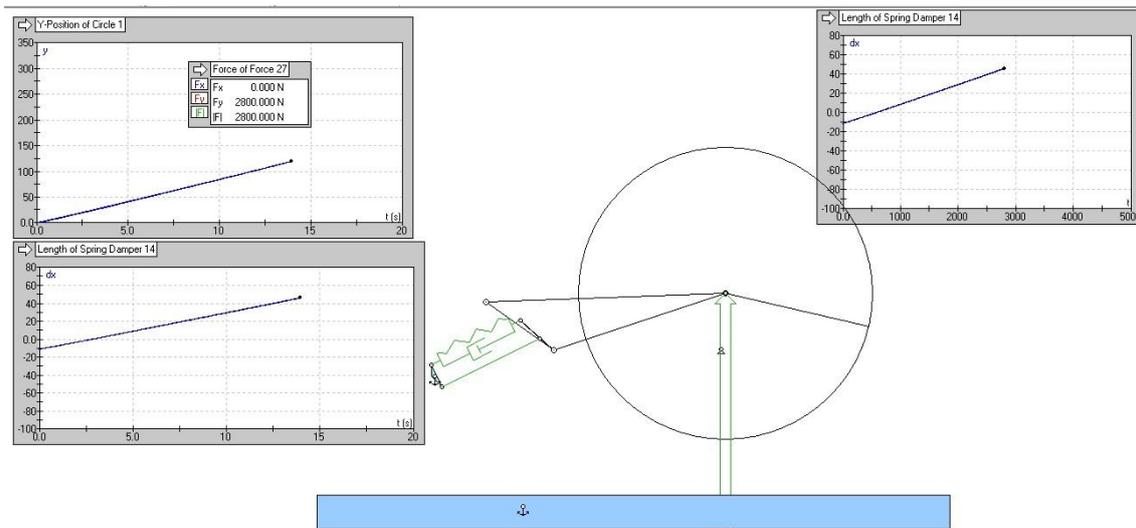
Fig. 73 Posición inicial suspensión

Se recrean los sólidos que actúan en la suspensión con figuras semejantes. Se le coloca un suelo y se le aplica una fuerza en función del tiempo para aplicarle movimiento.

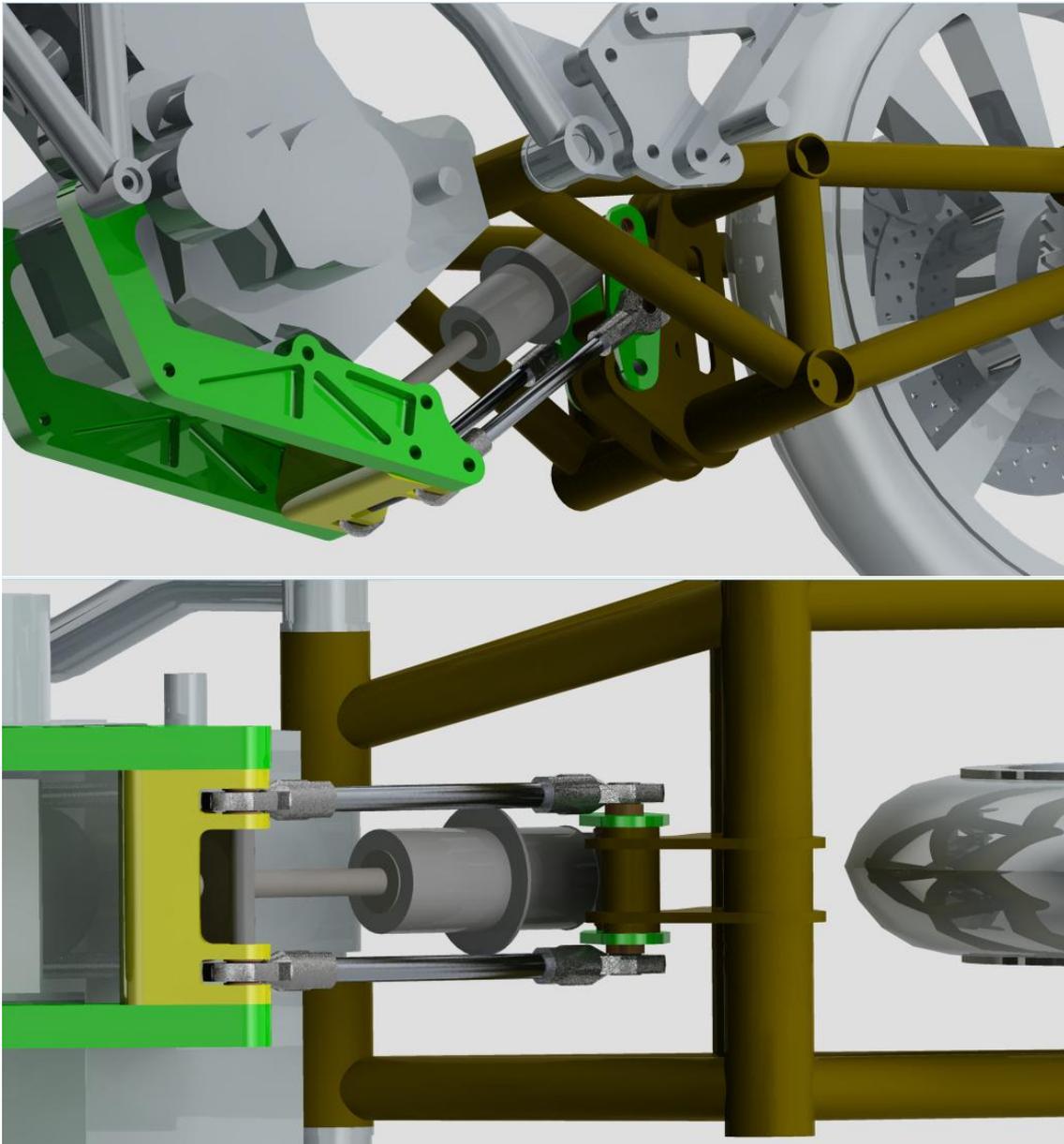
El amortiguador representado tiene la constante elástica proporcionada por la organización y el valor de amortiguamiento para así poder hacer estimaciones lo más reales posibles. Se busca conseguir una suspensión progresiva y como se puede ver en la gráfica de abajo a la derecha (representa tiempo frente a longitud del amortiguador utilizado) es completamente lineal con ligera tendencia hacia abajo en la parte final.

Con esta simulación al volcarla en un plano obtenemos las cotas de las piezas a diseñar mediante ProEngineer, además de esta configuración se presentan otras pequeñas variaciones de distancia y así poder tener más posibilidades de configuración para la suspensión ya que por normativa no podemos cambiar el amortiguador y el suministrado no tiene ninguna posibilidad de reglaje.

## “Pre-diseño de basculantes y selección para la suspensión de una motocicleta de competición”

**Fig. 74 Posición final suspensión**

Con estas simulaciones observamos que el tirante o bieleta de la suspensión recibía una carga de 14000N por lo que decidimos variar el diseño (no las dimensiones) y doblar el número de tirantes para conseguir una distribución más acorde.



**Fig. 75** Suspensión Motostudent

## 7. ELEMENTOS AUXILIARES

Uno de estos elementos serían los rodamientos que se alojan en el basculante para la unión al chasis permitiendo el giro y no el desplazamiento lateral.

Para la elección de los rodamientos se tuvo en cuenta que el basculante no soportara cargas axiales y por tanto los rodamientos a elegir deberían ser unos que aguantasen cargas radiales pero sin importarnos las axiales.

Mediante el catalogo de un fabricante localizamos un rodamiento de agujas, catalogado como corona de agujas por tener su parte exterior con una pista y la interior con las propias agujas.

Seleccionamos el tamaño acorde al basculante y su alojamiento 32mm de diámetro, eje central de 25mm y carga superior a 5000N. Con esto nos posicionamos en el catálogo

Rodamientos de agujas, casquillos de agujas									
Dimensiones principales			Capacidades de carga		Carga límite de fatiga	Velocidades		Masa	Designación
$F_w$	D	C	C	$C_0$	$P_u$	Velocidad de referencia	Velocidad límite	kg	
mm			kN		kN	rpm			-
22	28	16	13	22,4	2,6	11000	12000	0,021	HK 2216
22	28	16	8,8	13,7	1,56	-	7500	0,018	HK 2216.2RS
22	28	18	13	22,4	2,6	11000	7500	0,024	HK 2218 RS
22	28	20	15,7	29	3,45	11000	12000	0,026	HK 2220
22	28	20	13	22,4	2,6	-	7500	0,026	HK 2220.2RS
25	32	12	10,5	15,3	1,76	9500	11000	0,020	HK 2512
25	32	16	15,1	24	2,85	11000	9500	0,032	BK 2516
25	32	16	15,1	24	2,85	9500	11000	0,027	HK 2516
25	32	16	10,5	15,3	1,76	-	6700	0,027	HK 2516.2RS
25	32	18	15,1	24	2,85	9500	6700	0,034	BK 2518 RS
25	32	18	15,1	24	2,85	9500	6700	0,029	HK 2518 RS
25	32	20	19	32,5	4	9500	11000	0,038	BK 2520
25	32	20	19	32,5	4	9500	11000	0,033	HK 2520
25	32	20	15,1	24	2,85	-	6700	0,031	HK 2520.2RS
25	32	20	26,4	60	7,2	10000	8000	0,04	HN 2520
25	32	24	19	32,5	4	-	6700	0,040	HK 2524.2RS
25	32	26	24,2	45	5,5	9500	11000	0,048	BK 2526
25	32	26	24,2	45	5,5	9500	11000	0,044	HK 2526
25	32	30	24,2	45	5,5	-	6700	0,047	HK 2530.2RS
25	32	38	33	65,5	8	9500	11000	0,068	BK 2538
25	32	38	33	65,5	8	9500	11000	0,064	HK 2538
28	35	16	15,7	26,5	3,15	9000	9500	0,029	HK 2816
28	35	18	15,7	26,5	3,15	6300	9000	0,031	HK 2818 RS
28	35	20	20,1	36,5	4,4	9000	9500	0,036	HK 2820
28	35	20	15,7	26,5	3,15	-	6300	0,034	HK 2820.2RS

Fig. 76 Catalogo SKF

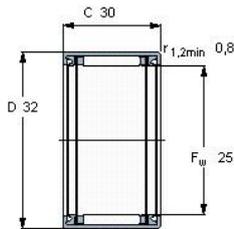
Y estas son las características del rodamiento elegido, se montaran dos, uno en cada extremo del basculante.

“Pre-diseño de basculantes y selección para la suspensión de una motocicleta de competición”

**Rodamientos de agujas, casquillos de agujas, sin fondo, obturaciones rozantes en ambos lados**

Tolerancias , ver también el texto  
 Tolerancias del eje y del alojamiento , ver también el texto  
 Ejes y alojamientos, ver el texto

Dimensiones principales			Capacidades de carga		Carga límite de fatiga	Velocidades		Masa	Designación
$F_w$	D	C	C	$C_0$	$P_u$	Velocidad de referencia	Velocidad límite	kg	
mm			kN		kN	rpm			
25	32	30	24,2	45	5,5	-	6700	0,047	HK 2530.2RS



**Accesorios adecuados**

Aro interior IR	IR 20x25x30
Aro interior LR	-
Obturación G	-
Obturación SD	-

Fig. 77 Características de corona de agujas HK2520-2RS

Para un correcto montaje y apriete del conjunto se montaran unos casquillos de tal manera que cuando apretamos el eje del basculante, estos rodamientos no estén sometidos al apriete y puedan ejercer su funcionamiento en las mejores condiciones posibles.

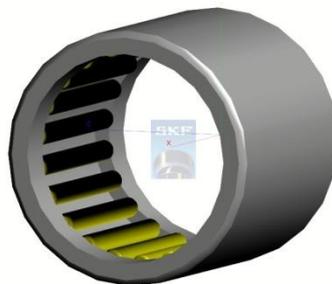


Fig. 78 Grafico de corona de agujas

Además para la unión del sistema de suspensión al basculante debemos utilizar otro par de rodamientos de agujas, también seleccionados del catalogo de SKF.

En este caso se tienen fuerzas de 14KN, por lo que recurrimos a unos rodamientos HK1516. Otras piezas secundarias para este conjunto de suspensión serian las arandelas antifricción PCMF 101207E del catalogo y las rotulas SIL 12 C sin mantenimiento de rosca hembra M12 para poder construir los tirantes que se pueden observa en la fotografía.

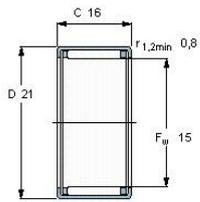
SKF

Visión 3D PDF CAD IMP Imprimir Cerrar

Rodamientos de agujas, casquillos de agujas, sin fondo, no están obturados

Tolerancias, ver también el texto  
Tolerancias del eje y del alojamiento, ver también el texto  
Ejes y alojamientos, ver el texto

Dimensiones principales			Capacidades de carga dinámica    estática		Carga límite de fatiga	Velocidades		Masa	Designación
$F_w$	D	C	C	$C_0$	$P_u$	Velocidad de referencia	Velocidad límite	kg	
mm			kN		kN	rpm			
15	21	16	10,1	14,6	1,7	15000	16000	0,015	HK 1516



**Accesorios adecuados**

- Aro interior IR
- Aro interior LR
- Obturación G
- Obturación SD

IR 12x15x16.5  
LR 12x15x16.5  
G 15x21x3  
SD 15x21x3

Fig. 79 Rodamientos HK1516

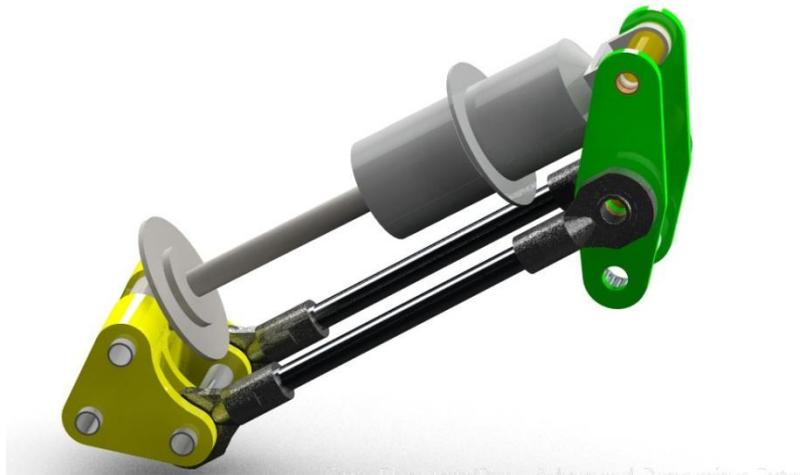


Fig. 80 Conjunto de la suspensión

Para los tirantes de la suspensión se compararán unas rotulas de la marca SKF modelo SIL 12 C, que son rotulas sin mantenimiento con cabeza hembra para varilla de M12. Todo este material de esta marca, gracias al patrocinio obtenido a través del grupo Maqlab de la universidad Carlos III que nos puso en contacto con ellos y sus productos.



## **8. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS**

En este proyecto se ha conseguido cumplir plenamente el objetivo principal que era conseguir una propuesta de diseño de basculante y sistema de suspensión viable para una motocicleta de carreras, según las especificaciones requeridas en la competición MotoStudent 2012.

Para llegar a buen fin este proyecto se han utilizado herramientas que actualmente son de uso habitual en la industria. Técnicamente, se ha comprobado que el proceso de diseño es un conflicto constante entre dos factores, entre los cuales debe encontrarse un equilibrio, por ejemplo: peso–rigidez, precio–materiales óptimos, etc.

En el proyecto se profundiza en el mundo de las motocicletas desde un punto de vista técnico, desarrollando cuales son las cualidades prácticas y reales que se buscan en un basculante y en un sistema de suspensión y lo difícil que puede ser seleccionar cualquier componente como queda reflejado en las pequeñas diferencias entre ciertos parámetros.

Condicionado por el material suministrado por los patrocinadores, se opta por un diseño que emplee tubos de acero frente a otros de chapa plegada o aluminio mecanizado, lo cual además nos aporta una gran ventaja en facilidad de fabricación.

Se proponen varios diseños de basculante, analizándolos ante determinados esfuerzos que simulan una aceleración estipulada, obteniendo los desplazamientos máximos. También se valorará el peso y la facilidad de construcción, seleccionando y proponiendo lo que será el diseño final.

Para el sistema de suspensión se realizan varios modelos escogiendo el que aporta más viabilidad con el resto de la motocicleta y presenta mayor facilidad de puesta a punto. Todo esto se ha realizado en consenso del grupo que desarrolla la motocicleta. Como sucede con el basculante, este sistema de suspensión se establece para aprovechar el máximo recorrido del amortiguador con el desplazamiento deseado de la rueda.

Centrándonos en el diseño de basculante final, podemos afirmar que los resultados obtenidos anteriormente son favorables pues la estructura aguantará los esfuerzos a los que se encontrará sometida y, además, cabe reseñar los siguientes aspectos:

- Algunas de las barras del basculante se encuentran poco cargadas por lo que puede considerarse que están algo sobredimensionadas. Esto provoca un peso algo más elevado del esperado pero por otro lado aporta seguridad extraordinaria (coeficiente de seguridad próximo a 2) y se consigue un basculante más sencillo de fabricar.

- La estructura creada para el basculante posee la rigidez suficiente para las cargas probadas.

El trabajo de diseño de una suspensión para motocicleta de competición es extenso y, aunque en este trabajo se abordan muchos de los aspectos a valorar, creemos que debe tener continuidad en otros proyectos abordando los siguientes aspectos que afinen las conclusiones aquí presentadas con desarrollos como los que se detallan a continuación:

- Optimización, en cuanto a modelado, de todas las piezas que constituyen el modelo de motocicleta, ya que, como se ha citado varias veces, a excepción del basculante, en este estudio no se han modelado con la forma real, debido a que no era el objeto de este proyecto.
- Una vez desarrollados el resto de componentes, se deberán crear los debidos anclajes, en el resto del conjunto, para fijar todas las piezas del ensamblaje
- La construcción del prototipo de basculante y una vez montado en la motocicleta, se deberán comparar los resultados reales en circuito y los esperados en diseño y, realizar las modificaciones que fuesen oportunas. Una optimización mucho más fina gracias a los datos reales de la construcción y las pruebas y sus comparaciones.
- Un estudio a fatiga del basculante. Esto es un prototipo que tendrá pocas horas de uso pero, si en un futuro se comercializase, sería un estudio imprescindible.
- Estudiar el efecto producido por el tiro de la cadena en el basculante.
- Estudiar los esfuerzos generados cuando se usa el freno trasero, obviado en este proyecto por el menor uso en competición pero sí importante para un estudio completo.

## **9. PRESUPUESTO**

Se expone a continuación un pequeño desglose de las actividades, equipos y personal que han sido utilizadas o han colaborado en la realización de este proyecto, detallándose con información económica y temporal, con objeto de ofrecer un presupuesto que pueda servir como indicador del coste del proyecto

El desglose de costes se ha dividido en cuatro grupos:

- Personal: Estimación del coste de todo el personal que ha intervenido en el proyecto. En este caso, como autor del proyecto, Aarón Collantes Gil, como Ingeniero.
- Equipos: Se estima la amortización del conjunto de equipos utilizados para la realización del proyecto: PC personal, y licencias de software ProEngineer y Office 2010.
- Subcontratación: Apartado en el que se desglosan todas las tareas que requieran de subcontratación a empresas externas. En este caso, todo ha sido realizado sin llevar a cabo esta práctica, por lo que no queda incluido.
- Resto de costes directos: Se establece en este apartado los costes generales que faltan por detallar, tales como dietas, viajes, materiales fungibles, coste de impresión...

“Pre-diseño de basculantes y selección para la suspensión de una motocicleta de competición”

<b>1.- Autor:</b>
Aarón Collantes Gil
<b>2.- Departamento:</b>
Ingeniería Mecánica
<b>3.- Descripción del Proyecto:</b>
- Título: Pre-diseño de basculantes y selección para la suspensión de una motocicleta de competición
- Duración: 6 meses
-Costes indirectos: 20%
<b>4.- Presupuesto total del Proyecto:</b>
14.950,00 €

<b>5.- Desglose presupuestario</b>					
<b>PERSONAL</b>					
Apellidos y nombre	Tarea	Categoría	Dedicación (h)	Coste (€/h)	Coste (€)
Aarón Collantes Gil	Modelado y simulación	Ingeniero Técnico	150	65,00	9.750,00
	Documentación y redacción de la Memoria		70	30,00	2.100,00
<b>Total</b>					<b>11.850,00</b>
<b>RECURSOS INFORMATICOS</b>					
Descripción	Coste (€)	% Uso dedicado proyecto	Dedicación (meses)	Periodo depreciación	Coste imputable (€)
Ordenador personal DellInspiron 15, i5, 4gb	800,00	50	6	12	200,00
Licencia ProEngineer	5.400,00	80	5	12	1.800,00
Paquete Office 2012	600,00	80	5	12	200,00
<b>Total</b>					<b>2.200,00</b>

<b>6.- Resumen de costes (€)</b>	
Personal	11.850,00
Amortización	2.200,00
Subcontratación de tareas	0
Costes de funcionamiento	0
Costes indirectos	900,00
<b>Total</b>	<b>14.950,00</b>

El presupuesto total de este proyecto asciende a la cantidad de catorce mil novecientos cincuenta euros.

Leganés, a 25 de Octubre de 2012

El ingeniero proyectista

Fdo.: Aarón Collantes Gil

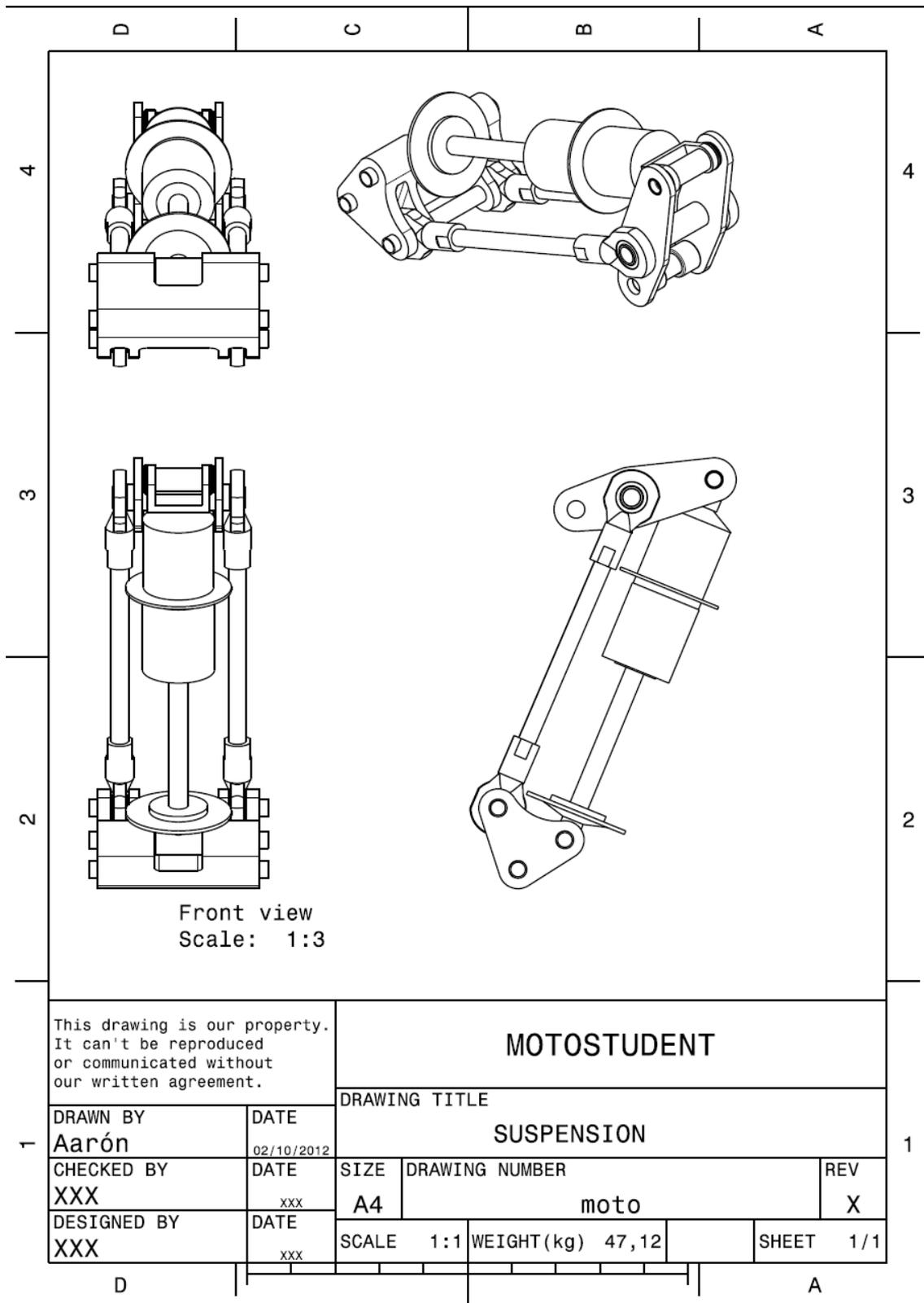
## **10. BIBLIOGRAFIA**

- [1] Tony Foale: “Motorcycle handling and chassis design: the art and science”. Second edition. March 2006. ISBN: 84-933286-3-4.
- [2] Arias-Paz Guitian, Manuel: Motocicletas. Madrid: Ed. Dossat. 32ª edición. Año 2003
- [3] Reglamento Técnico. MotoStudent. Año 2011/2012.
- [4] Arenaza, B I “Diseño y cálculo estructural del basculante y diseño del sistema de suspensión trasera de una motocicleta de competición” Universidad Politécnica de Navarra. Año 2010
- [5] Normativa general MotoStudent. Año 2011/2012.
- [6] Miguel Velázquez Kennedy. Trabajo fin de Grado: “Propuesta de un basculante y sistema de suspensión para una moto de competición” Universidad Carlos III de Madrid. Año 2012.
- [7] Tania Folguera. Trabajo dirigido: “Modelado en Pro-e”. Universidad Carlos III de Madrid. Año 2011.
- [8] Tania Folguera. Proyecto Fin de Carrera: “Estudio de las vibraciones autoexcitadas en el tren delantero de un motocicleta”. Universidad Carlos III de Madrid. Año 2011.
- [9] Yolanda Colás. Proyecto Fin de Carrera: ”Prototipo de chasis para motostudent. Diseño y estudio”. Universidad Carlos III de Madrid. Año 2009.
- [10] Yamaha España S.L. Manual de taller Yamaha YZF R125. Año 2011

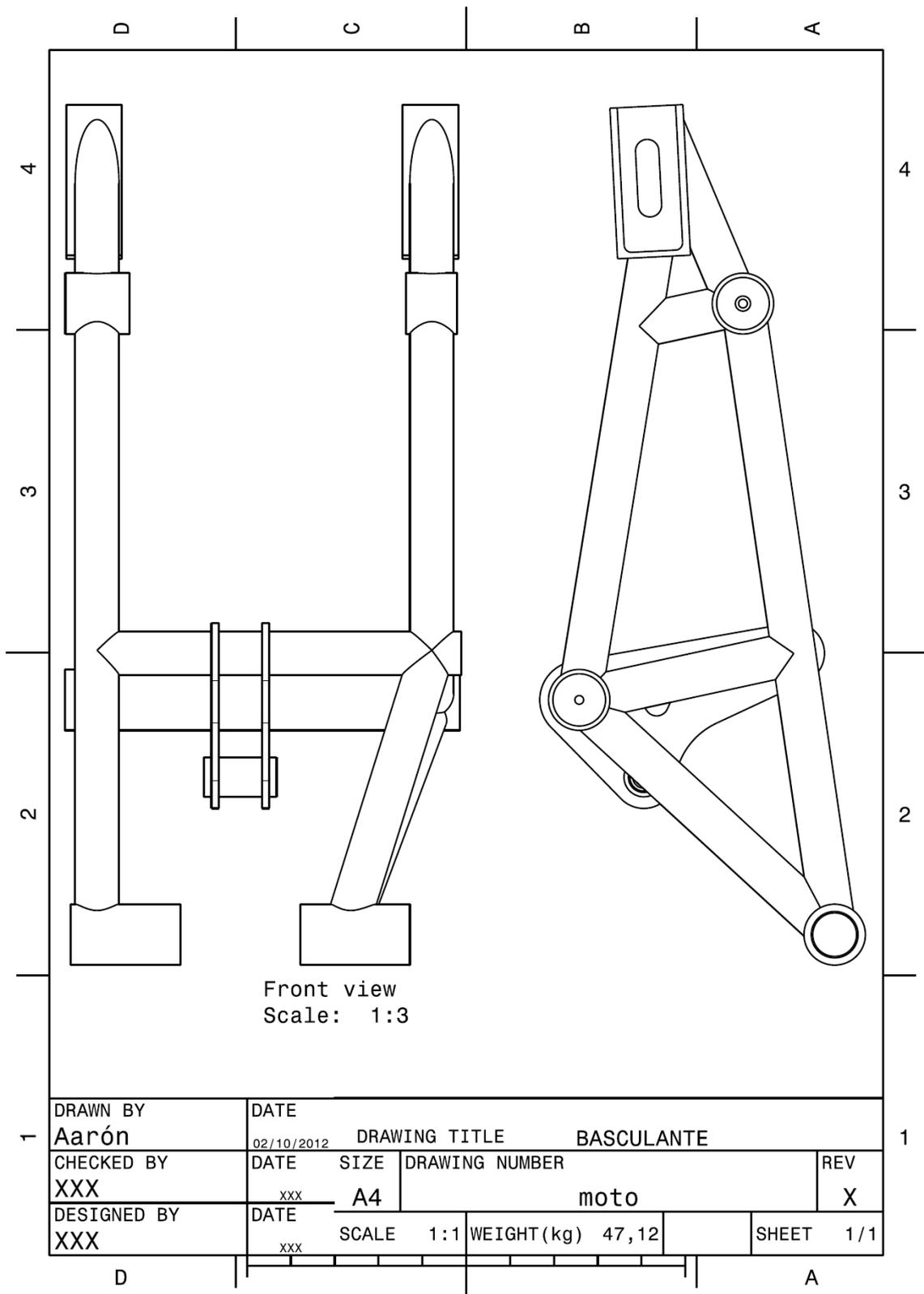
### **Referencias de la web**

- [12] “Blog de David Sánchez sobre motocicletas, tecnología, diseño y competición.”: <http://www.bottpower.com> (último acceso 15/06/2012)
- [13] Web de artículos sobre motocicletas de competición <http://motoracerx.wordpress.com/> (último acceso 10/05/2012)
- [14] Fabricante de tubos para estructuras ligeras Reynolds <http://reynoldstechnology.biz/> (último acceso 25/09/2012)

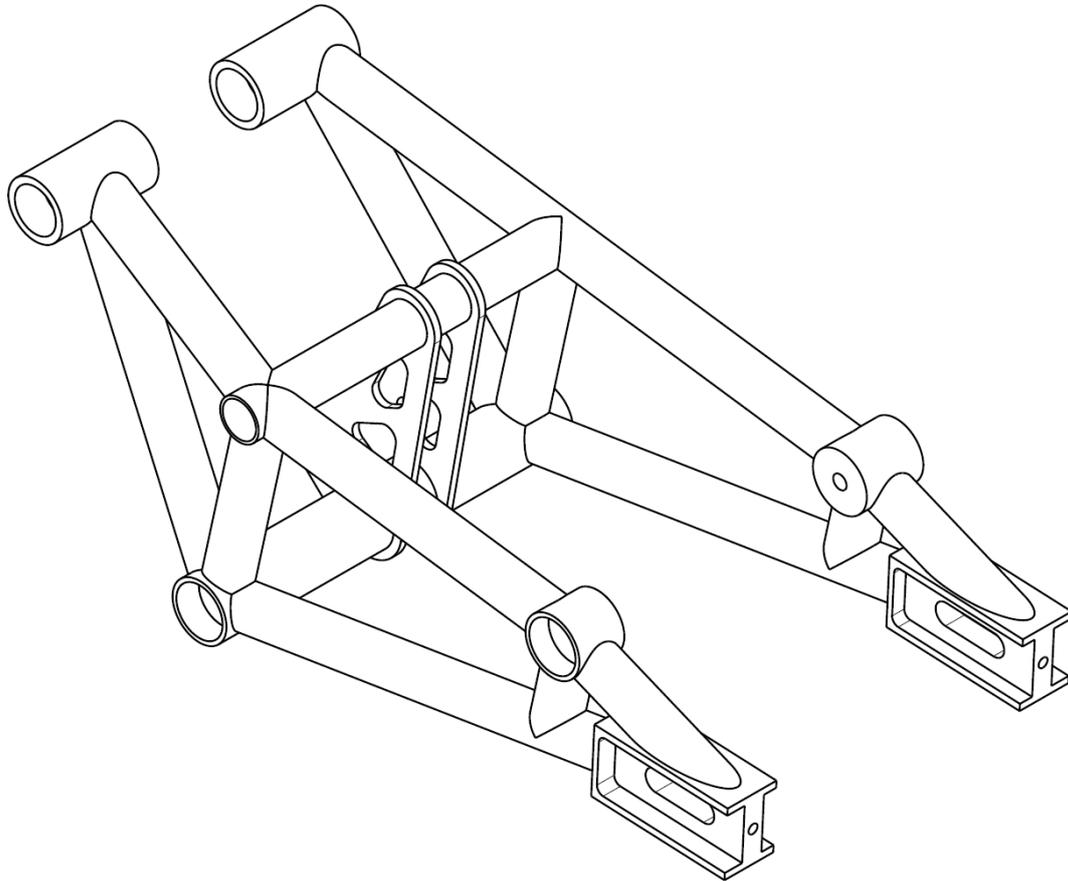
ANEXOS



“Pre-diseño de basculantes y selección para la suspensión de una motocicleta de competición”



“Pre-diseño de basculantes y selección para la suspensión de una motocicleta de competición”



Isometric view  
Scale: 1:3

		<b>BASCULANTE</b>			
		DRAWING TITLE			
DRAWN BY <b>Aarón</b>	DATE 02/10/2012				
CHECKED BY <b>XXX</b>	DATE xxx	SIZE <b>A4</b>	DRAWING NUMBER <b>moto</b>		REV <b>X</b>
DESIGNED BY <b>XXX</b>	DATE xxx	SCALE 1:1	WEIGHT(kg)	47,12	SHEET 1/1