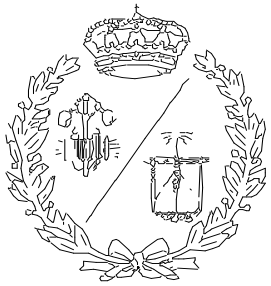
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Proyecto Fin de Grado

DISEÑO Y DESARROLLO DE LA SUSPENSIÓN TRASERA DE UNA MOTOCICLETA PARA LA COMPETICIÓN MOTOSTUDENT 15-16

(Design and development of the motorcycle back suspension to participate at the MotoStudent Competition)

Para acceder al Título de

GRADUADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

Autor: Víctor Chacartegui García

Julio - 2017

MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN..... 7
2. MOTIVACIÓN.....8
3. OBJETO DEL PROYECTO.....9
4. ANTECEDENTES.....10
   4.1. Elementos del basculante y de la suspensión trasera.....10
   4.2. Tipos de suspensión a lo largo de la historia.....14
   4.3. Tipos de suspensión actuales.....15
   4.4. Geometría y dinámica de la suspensión.....19
   4.5. Técnicas y materiales de fabricación.....24
5. PLANTEAMIENTO DEL DISEÑO.....26
   5.1. Limitaciones de la competición.....26
   5.2. Limitaciones propias.....30
   5.3. Diseño dinámico de los elementos de la motocicleta.....31
   5.4. Soluciones estudiadas.....35
   5.5. Variación de parámetros.....39
   5.6. Cálculo de fuerzas: software multi-body.....40
   5.7. Cálculo estructural: software Elementos Finitos.....44
6. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN FINAL.....45
   6.1. Tipología.....45
   6.2. Material.....46
   6.3. Dimensiones generales.....49
   6.4. Detalles constructivos.....50
   6.5. Resultado final.....52

ANEXOS A LA MEMORIA

1. ANÁLISIS DINÁMICO DEL BASCULANTE Y SUS ELEMENTOS.....57
   1.1. Introducción.....57
   1.2. Definición de elementos y parámetros.....57
   1.3. Cálculo de los esfuerzos mediante el momento de giro.....58
   1.4. Cálculo de los esfuerzos mediante Working Model.....61
   1.5. Cálculo de los elementos del sistema de suspensión.....69

2. ANÁLISIS DE TENSIONES Y DEFORMACIONES MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS
2.1. Análisis estructural del basculante....74
2.2. Análisis estructural del basculante....78
2.3. Análisis estructural del basculante....80

3. ESTUDIO Y SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA SUSPENSIÓN....82
3.1. Estudio de los parámetros del diseño....82
3.2. Estudio con diferentes configuraciones del amortiguador....85
3.3. Estudio con diferentes longitudes de bieletas....88

PLANOS....90

PLIEGO DE CONDICIONES....97

1. PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES....98
1.1. Disposiciones generales del proyecto....98
1.2. Condiciones legales y administrativas....98
2. PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS PARTICULARES....100
2.1. Disposiciones facultativas y obligaciones de los participantes en el proyecto..100
2.2. Especificaciones de materiales y equipos....101
2.3. Especificaciones de ejecución....101
2.4. Trabajos defectuosos....102
3. PLIEGO DE CONDICIONES ECONÓMICAS....103
3.1. Criterio general....103
3.2. Contrato....103
3.3. Precios....103
3.4. Plazos de ejecución....104
3.4. Varios....104

PRESUPUESTO.....105

1. DISTRIBUCIÓN DEL PRESUPUESTO DEL PROTOTIPO.....106
2. COSTE DE LA MATERIA PRIMA.....107
    2.1. Materia prima.....107
    2.2. Componentes de serie y normalizados.....108
3. MANO DE OBRA DIRECTA 109
4. MANO DE OBRA INDIRECTA.....110
5. GASTOS GENERALES.....111
6. BENEFICIO INDUSTRIAL.....112
7. COSTE TOTAL.....113
    7.1. Presupuesto de ejecución material.....113
    7.2. Presupuesto de contrata.....114
    7.3. I.V.A.....115
    7.4. Presupuesto total.....116

BIBLIOGRAFÍA.....117

Agradecimientos

A mi padre, mi madre y mi hermana por su apoyo durante este largo camino.

A todas las personas que me ayudaron en algún momento, ya que sin ellas no hubiera podido alcanzar este objetivo.

Gracias.

Víctor.

MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN

En la primavera del año 2015 se compuso el equipo UC Racing Students con el objeto de participar en la competición MotoStudent 2015-2016. Esta competición se desarrolla cada dos años y en ella participan universidades de todo el mundo, diseñando una motocicleta de 250cc. y desarrollando un proyecto de industrialización de la misma motocicleta. La Universidad de Cantabria había participado antes en esta competición con gran éxito y nuestra meta era repetir el buen trabajo realizado anteriormente. La competición MotoStudent provee a los equipos del motor y la caja de cambios, así como algunos elementos del sistema frenado. Los equipos deben diseñar la estructura de la motocicleta y el resto de los elementos para el buen funcionamiento de la misma.

Para la edición 2015-2016 el equipo estuvo formado por Gonzalo Martínez, José Miguel Otero, Jose Gutiérrez, Jorge Martínez, Andrés de la Gala y Víctor Chacartegui y dirigido por Pablo García, profesor de la Universidad de Cantabria.

2. MOTIVACIÓN

La idea del diseño de una motocicleta para una competición internacional es y debe ser un sueño para cualquier ingeniero mecánico. A través de la Universidad de Cantabria se presentó la oportunidad de participar en el proyecto MotoStudent, diseñando el basculante y la suspensión trasera de la motocicleta con la que participaríamos. La principal motivación de este proyecto fue desarrollar junto con mis compañeros un proyecto de este calado, un reto único en el que trabajamos con ilusión y desempeño.

3. OBJETO DEL PROYECTO

El Proyecto consiste en el diseño del basculante y de la suspensión trasera de una motocicleta de 250cc para la competición entre equipos universitarios MotoStudent 2015-2016. Este diseño se debe ajustar a un presupuesto y al reglamento de la competición. También se debe tener en cuenta el diseño de las otras partes de la motocicleta en coordinación con el resto del equipo UC Racing Students. Los principales hitos del proyecto serán:

1. Diseño geométrico del basculante, incluyendo el dimensionamiento de todos los elementos auxiliares que forman la suspensión.
2. Análisis de los esfuerzos producidos en cada elemento de la suspensión mediante un software de simulación multi-cuerpo.
3. Estudio y simulación del comportamiento de la suspensión enfocado a la búsqueda de una curva de rigidez progresiva.
4. Análisis de tensiones y deformaciones mecánicas de todos los elementos mediante software de elementos finitos, comprobando las condiciones de las pruebas de verificación.
5. Planos y presupuesto de fabricación del basculante.

4. ANTECEDENTES

Para realizar diseño óptimo de un sistema de suspensión y del basculante de una motocicleta debemos estudiar los elementos que lo componen y las diferentes soluciones que se han ido dando por los diferentes fabricantes. En este capítulo estudiaremos los diseños más comunes, sus partes, funciones, comportamiento de los mismos y las evoluciones que se han desarrollado a lo largo de los años.

4.1. ELEMENTOS DEL BASCULANTE Y DE LA SUSPENSIÓN TRASERA

La función principal de la suspensión trasera es, junto con el basculante, minimizar los esfuerzos producidos por el terreno o por las fuerzas producidas por la propia motocicleta, tanto en frenada como en aceleración. Además debe asegurar el contacto de las rueda con el suelo en todo momento. Cualquier diseño debe tener estos objetivos principales sin olvidar los aspectos de peso, coste y vida útil de los diferentes elementos del sistema de suspensión.

Para cada clase de motocicleta se diseñará un tipo de suspensión dependiendo del propósito de su uso. En el caso de una motocicleta de competición dejaremos a un lado los parámetros de comodidad para centrarnos en los de máximas prestaciones. Estas prestaciones se podrían definir como:

- Tracción máxima de la rueda trasera
- Mínima rigidez del conjunto muelle-amortiguador
- Control del cabeceo de la motocicleta

Sea cual sea el tipo de motocicleta, la suspensión de la misma está formada por los siguientes elementos básicos: basculante, muelle y amortiguador. Las diferentes formas de unir estos elementos, logrando distintos comportamientos, se llevan cabo con el balancín y las bieletas.

4.1.1. Basculante

El basculante de una motocicleta se define como el elemento que une las diferentes partes de la suspensión trasera. Este cuerpo deberá trasmitir todos los esfuerzos al chasis producidos por la cadena de la moto al girar sobre el piñón y aportar el momento de giro a la rueda trasera. Además es el soporte para los demás elementos de la suspensión, como el muelle amortiguador, el balancín y las bieletas.

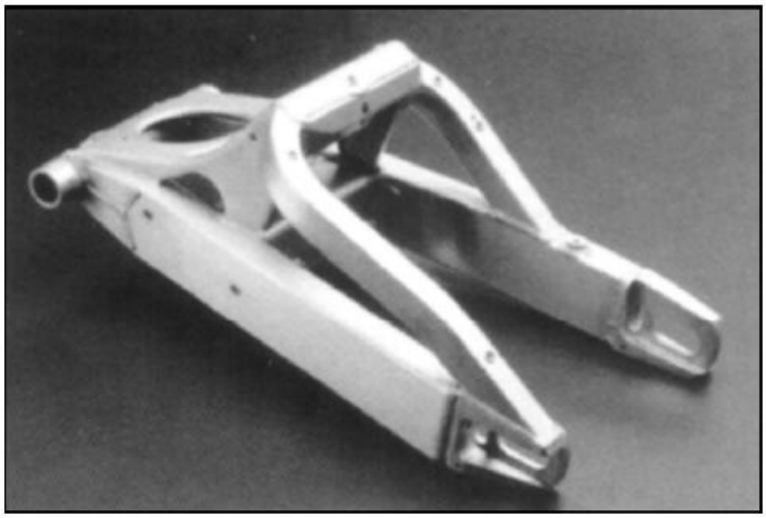


Imagen 4-1: Basculante Yamaha R6 Ref.[1]

4.1.2. Muelle o resorte

En el caso del resorte de tracción o compresión de una motocicleta, podemos definirlo como aquel elemento que almacena energía elástica de manera temporal en función de su grado elástico. Este grado elástico está definido por la fuerza (F) y la carrera del resorte (f) mediante la expresión $c = \frac{F}{f}$.

La fuerza referida a un resorte viene dada por la expresión $F_k = k \,.\, x\,(t)$, mientras su energía de deformación será $U = \frac{1}{2}\ K\,.\ x^2\,(\,t)$, ambas funciones son dependientes del tiempo.

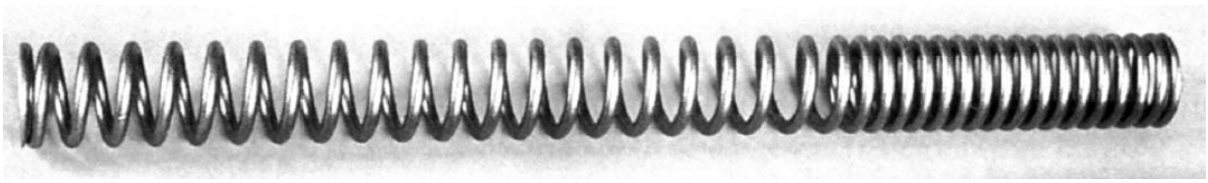


Imagen 4-2: Muelles de compresión Ref. [4]

4.1.3. Amortiguador

Un amortiguador es aquel elemento que convierte la energía en calor mediante la fricción viscosa del fluido del amortiguador. En las motocicletas modernas nos encontramos amortiguadores que permiten la regulación de la precarga, permitiendo un mayor ajuste de la suspensión, como veremos en el estudio de la amortiguación.La fuerza del amortiguamiento viscoso está definido por $F_c = c \,.\, \dot{x}\,(t)$

4.1.4. Balancín

El balancín es el elemento de conexión ternario de la suspensión trasera de una motocicleta. Esta conexión puede ser entre el chasis, el amortiguador y las bieletas o entre el basculante, el amortiguador y las bieletas. El dimensionamiento de este elemento, así como de las bieletas define el comportamiento de la suspensión junto con el muelle-amortiguador.

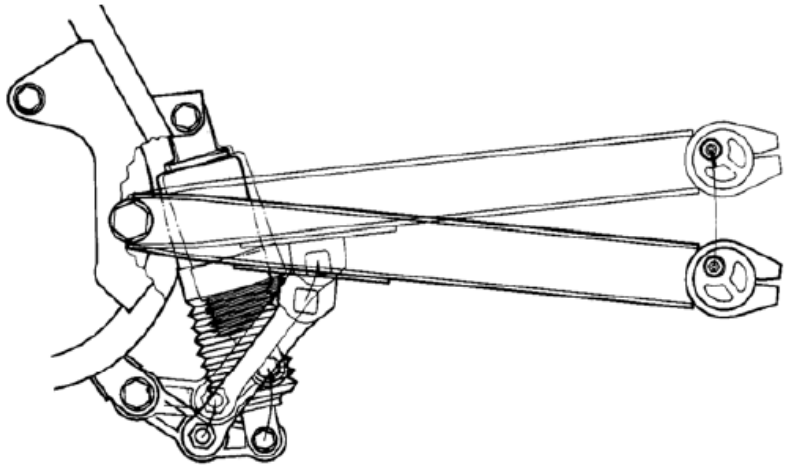


Imagen 4-3: Suspensión Kawasaki Uni-Track de 1985 [3]

4.1.5. Bieletas

Las bieletas son las uniones entre dos elementos de la motocicleta siendo estos elementos diferentes según la clase de motocicleta. La longitud de las bieletas es un parámetro clave en la progresividad de la suspensión.

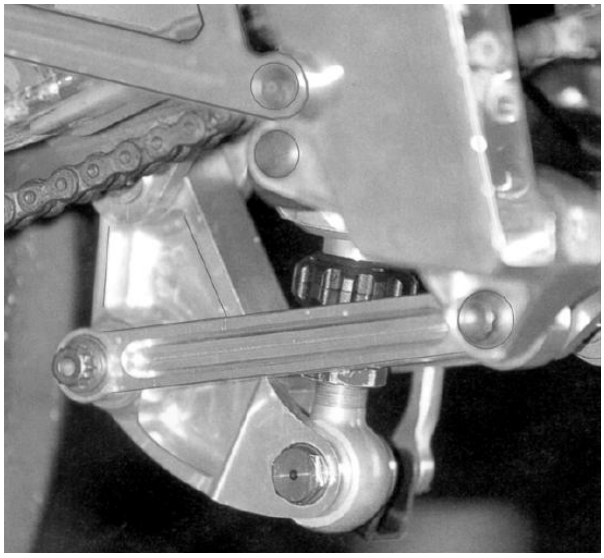


Imagen 4-4: Balancín y bieletas Yamaha RDLC Ref.[1]

4.2. TIPOS DE SUSPENSIÓN A LO LARGO DE LA HISTORIA

Desde la invención del automóvil en el año 1885, cuando Wilhelm Maybach y Gottlieb Daimler instalaron un motor de combustión interna a un cuadro y cuatro ruedas de madera, la forma de los medios de transporte y en especial de la motocicleta y de su suspensión ha evolucionado considerablemente. La solución de una estructura única que soporte y una todos los elementos de la motocicleta fue mejorada al separar por una parte el chasis, soporte del motor y del eje delantero, y el brazo trasero o basculante, unido a la rueda trasera. Esta solución, patentada por Moto Guzzi en 1928, triangulaba el basculante y le permitía pivotar al realizar la unión entre el chasis y el basculante con un cojinete. Actualmente todas las suspensiones están basadas en esta solución, con diferentes configuraciones de sus elementos.

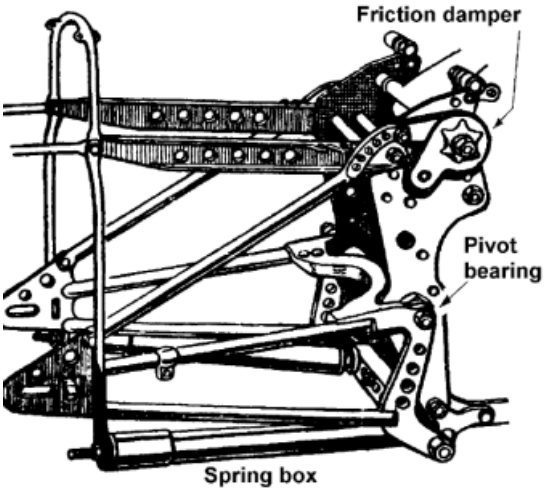


Imagen 4-5: Conjunto basculante Ref.[1]

En la década de los años 70 Kawasaki desarrolló un nuevo sistema de suspensión para la carrera de resistencia Godier-Genoud. La marca japonesa diseñó un basculante en forma de triángulo que pivotaba sobre la unión con el chasis y al que se estaba conectada una manivela que ejercía un segundo contacto con el chasis. Con esta solución logró una suspensión progresiva, al tener el muelle y el amortiguador unos recorridos progresivos debido a la manivela intermedia entre el mismo basculante y el chasis.

Basándose en esta solución se han desarrollado los actuales sistemas de suspensión, como son el sistema ProLink de Honda, Full Floater de Suzuki o Uni Track de Kawasaki.

4.3. TIPOS DE SUSPENSIÓN ACTUALES

Tal y como se ha explicado la tendencia actual es desarrollar un basculante con un sistema de suspensión mediante un amortiguador y un sistema de balancín y bieletas. Este sistema ha demostrado ser el mejor, debido su progresividad y su gran comportamiento en cualquier terreno.

En este subcapítulo nos centraremos en los tres sistemas principales de suspensión, sus partes y comportamiento, así como el tipo de motocicleta que se adapta a cada uno.

4.3.1. Amortiguador conectado al chasis y al basculante

Este sistema de amortiguación está definido por dos amortiguadores en paralelo, conectados directamente entre el subchasis y a la parte trasera del basculante.

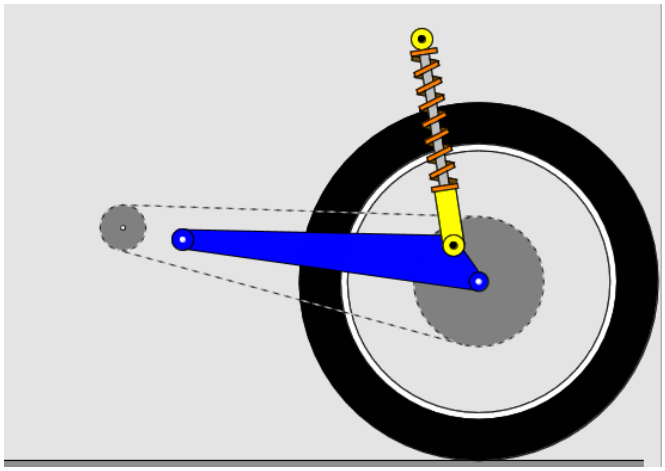


Imagen 4-6: Sistema suspensión con doble amortiguador Ref.[2]

Su comportamiento se basa en el balanceo del peso directamente a través de los amortiguadores. Por lo tanto, no hay un reparto del peso ni una progresividad en reparto de la carga, ya que ésta se dirige directamente a través del muelle-amortiguador al basculante.

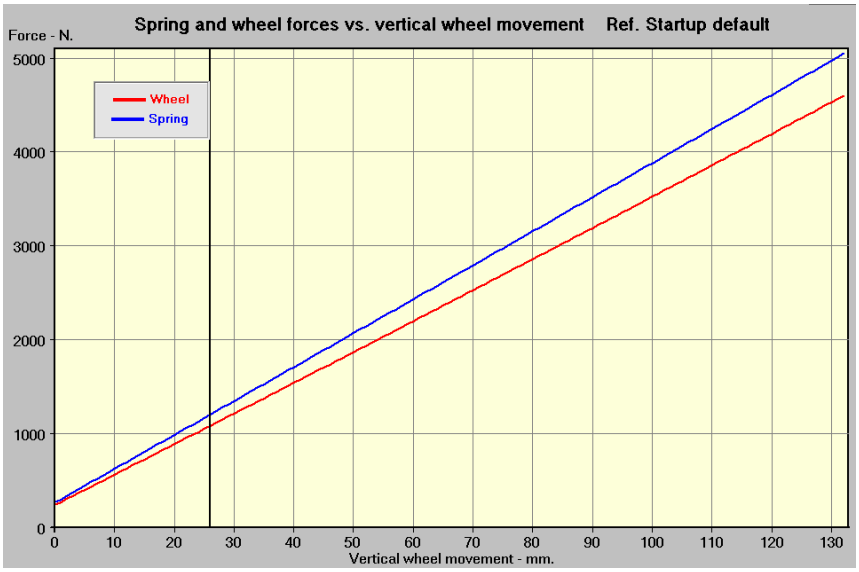


Imagen 4-7: Gráfica 1 fuerza - mov. vertical de la rueda Ref.[2]

Estudiando un caso con unos valores estándar de amortiguación podemos ver la linealidad en el comportamiento de esta suspensión. La evolución del movimiento vertical de la rueda (eje X) al introducir una fuerza en el muelle o en la rueda (eje Y) es una recta, lo cual demuestra la falta de progresividad de este sistema y una respuesta directa en el comportamiento del mismo.

Este sistema lo podemos encontrar en motocicletas de tipo clásico como las Triumph o diversos modelos de la marca Royal Enfield, caracterizados por ser modelos simples, sin buscar unas altas prestaciones en los sistemas de amortiguación ya que no están pensadas para un uso de competición.

Imagen 4-8: Triumph Bonneville Ref.[15]

4.3.2. Sistema de balancín con bieletas conectadas al basculante

El siguiente sistema viene marcado por un elemento ternario, el balancín, que une las dos bieletas en paralelo. Éstas a su vez están conectadas a ambos brazos del basculante. Por último el amortiguador conecta el balancín y el basculante en su parte central.

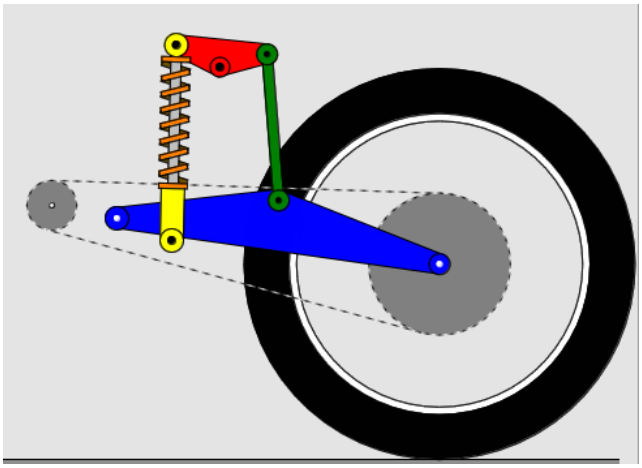


Imagen 4-9: Sistema suspensión con balancín superior Ref.[2]

Mediante el balancín las fuerzas se ven distribuidas a través de los tres elementos. El comportamiento buscado con este sistema de suspensión es progresivo, produciéndose

una curva en la que, al introducir una fuerza pequeña, el desplazamiento vertical de la rueda es pequeño; conforme la fuerza aumenta, el desplazamiento de la rueda será mucho mayor.

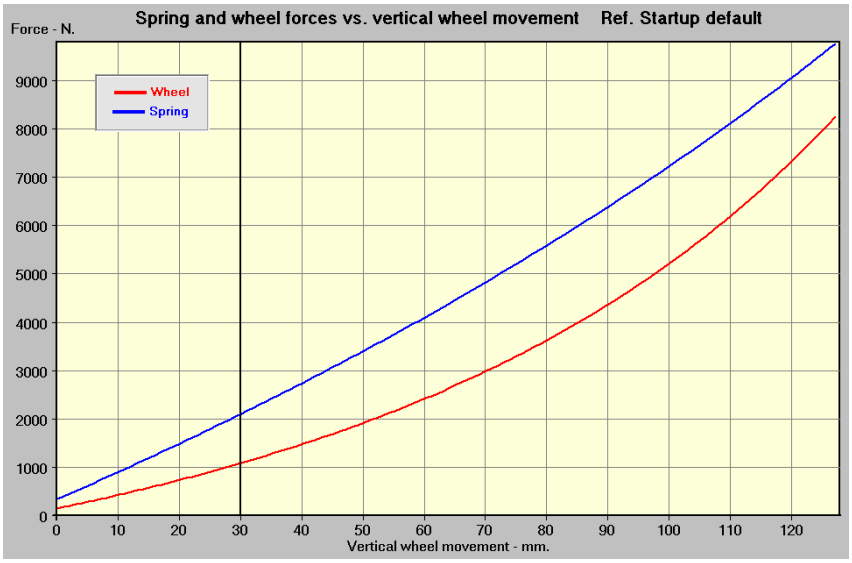


Imagen 4-10: Gráfica 2 fuerza - mov. vertical de la rueda Ref.[2]

Este tipo de suspensión es utilizado por gran parte de las motocicletas actuales de gran cilindrada, tanto las gran turismo como las destinadas a rodar en circuito. En la imagen inferior podemos observar este sistema de suspensión con un amortiguador de gas regulable en precarga.

Imagen 4-11: Sistema de suspensión de la Ducati Superbike 1098 (1099cc.) Ref.[15]

4.3.3. Sistema de bieletas con balancín conectado al basculante

El último sistema de amortiguación que estudiaremos es aquel en el que el balancín está conectado al basculante, a diferencia del anterior que estaba conectado al chasis. Nos encontramos dos bieletas en paralelo que conectan el balancín al chasis y un amortiguador en posición vertical o con una pequeña inclinación, unido al chasis.

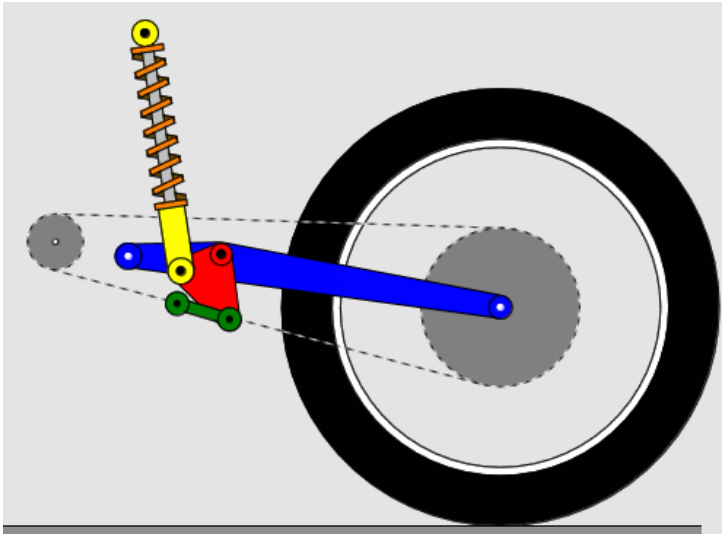


Imagen 4-12: Sistema suspensión con balancín conectado a basculante Ref.[2]

Analizando las curvas de desplazamiento al introducir una fuerza determinada, con unos parámetros de amortiguación estándar, observamos que las líneas de desplazamiento del amortiguador y de la rueda están considerablemente separadas. Esto indica desarrollo muy grande en las fuerzas del muelle frente a la rueda, lo que podría resultar en un desplazamiento muy pequeño de la rueda y en un comportamiento reducido.

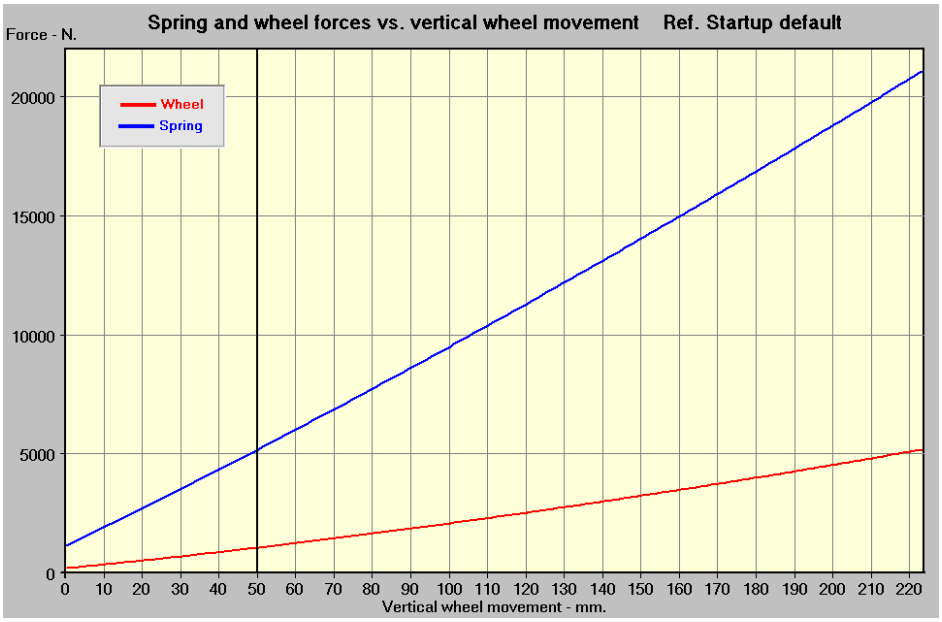


Imagen 4-13: Gráfica 3 fuerza - mov. vertical de la rueda Ref.[2]

El sistema de suspensión estudiado es utilizado en la mayoría de motocicletas de media cilindrada, así como en motocicletas de Cross, destinadas a la conducción por terrenos irregulares.

Imagen 4-14: Sistema de bieletas Suzuki RM 250 Z año 2010 Ref.[5]

4.4. GEOMETRÍA Y DINÁMICA DE LA SUSPENSIÓN

Cada uno de los sistemas de suspensión vistos anteriormente tienen un razonamiento en su diseño, adaptado a las necesidades de cada motocicleta. A continuación estudiaremos los mismos desde el punto de vista geométrico y dinámico, analizando su comportamiento.

4.4.1. Estudio del caso amortiguador conectado al chasis y al basculante

En el sistema de suspensión más simple (caso 4.3.1. Amortiguador conectado al chasis y al basculante), se pueden dar tres variantes. Los tres casos son:

1. Doble amortiguador conectado verticalmente al chasis (Standard)
2. Doble amortiguador conectado inclinado al chasis (Angled)
3. Amortiguador conectado horizontalmente al chasis (Cantilever)

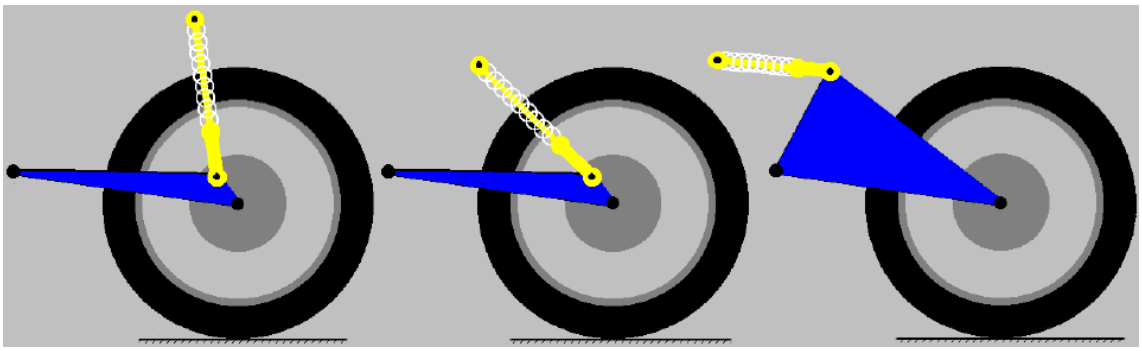


Imagen 4-15: Configuraciones en la conexión del amortiguador al chasis y al basculante Ref.[2]

Los parámetros de amortiguación serán los mismo para los tres casos. A continuación estudiaremos la gráfica de fuerza en la rueda (efecto de un bache o de la resultante en la rueda durante una frenada) y del movimiento de la rueda. El motivo para estudiar estas gráficas es el análisis del comportamiento del amortiguador en extensión, frente al movimiento de la rueda.

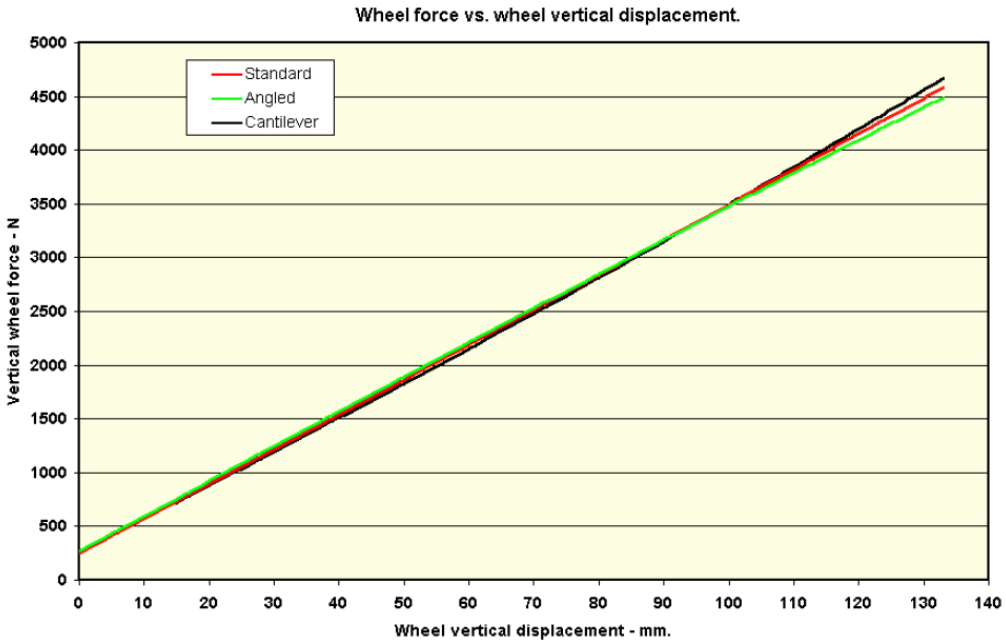


Imagen 4-16: Gráfica 4 fuerza vertical en la rueda - mov. vertical de la rueda Ref.[4]

Podemos concluir que el comportamiento es muy similar en los tres tipos de suspensión, ya que las tres rectas están casi superpuestas. Analizando más detenidamente el gráfico, observamos que en el caso de la línea negra (amortiguador conectado horizontalmente al chasis, Cantilever) se da una curva más pronunciada que en el resto, logrando una mayor progresividad en la amortiguación.

4.4.2. Estudio del caso sistema de balancín con bieletas conectadas al basculante

Para el siguiente tipo de suspensión (caso 4.3.2. Sistema de balancín con bieletas conectadas al basculante) existe un gran número de combinaciones posibles. En nuestro caso, para simplificar el estudio nos centraremos en un caso para profundizar el estudio y observar cómo se comporta la suspensión al modificar las configuraciones.

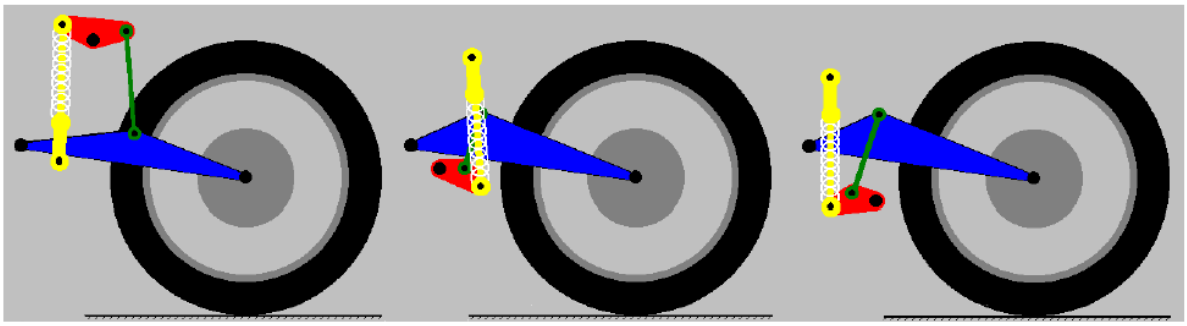


Imagen 4-17: Configuraciones diferentes con bieletas conectadas a basculante Ref.[2]

Centramos nuestro análisis en el sistema de suspensión de la imagen central, en que el balancín se encuentra por debajo del basculante, el amortiguador se sitúa con un pequeño ángulo respecto de vertical y va unido a la parte trasera del balancín y las bieletas se conectan a la parte central del balancín. Como en el estudio anterior, la configuración del amortiguador será la misma en todo el estudio.

A continuación cambiaremos los siguientes parámetros de la suspensión:

- Ángulo del balancín con respecto a la horizontal. Este cambio provocará un cambio entre las distancias de los ejes del amortiguador, las bieletas y la conexión con el chasis.
- Dimensión del amortiguador y de las bieletas. De esta manera la suspensión tendrá otro recorrido y, consecuentemente, otro comportamiento.

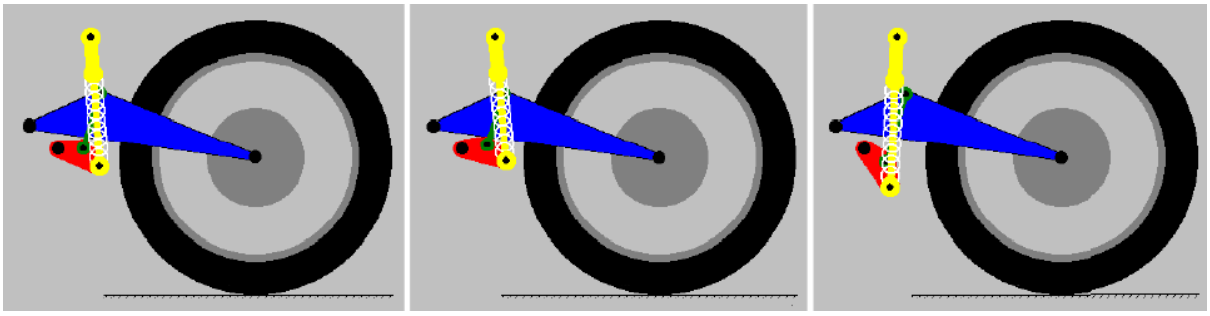


Imagen 4-18: Configuraciones con diferentes ángulos del balancín Ref.[2]

El primer caso lo denominaremos caso normal (base), el segundo será el rotado hacia la izquierda (anti-clockwise) y el tercero rotado hacia la derecha (clockwise). Comenzamos el análisis situando los sistemas en posición límite (full bump).

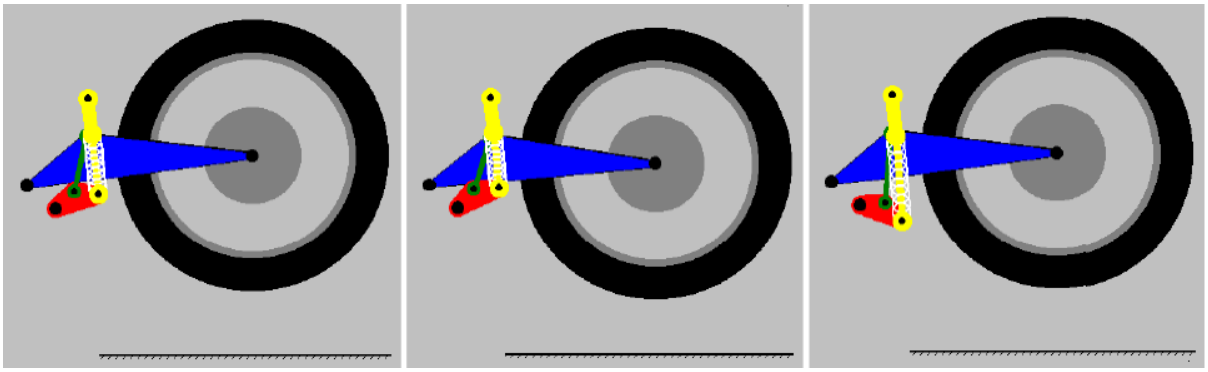


Imagen 4-19: Comportamiento en los diferentes sistemas Ref.[2]

Procedemos a dibujar la gráfica de comportamiento de las tres configuraciones de suspensión, analizando el desplazamiento de la rueda respecto la fuerza de la rueda. Como podemos observar en la gráfica de debajo, las curvas del caso normal y del caso rotado hacia la derecha casi se superponen, mientras que difiere mucho en el caso rotado a la izquierda. En este caso a partir de los 100mm de desplazamiento de la rueda se produce una gran progresividad frente a la linealidad de las otras dos configuraciones.

Imagen 4-20: Gráfica 5 fuerza vertical en la rueda - mov. vertical de la rueda Ref.[4]

4.4.3. Estudio del caso sistema de balancín conectado al basculante con bieletas

En el siguiente estudio nos centraremos en el caso de la suspensión con el balancín conectado al basculante y la bieletas unidas al chasis y al basculante (caso 4.3.3. Sistema de bieletas con balancín conectado al basculante). Como en la configuración anterior existen muchas formas de realizar las uniones, con diferentes longitudes y ángulos en cada elemento. A continuación podemos observar tres formas de unir los elementos, con diferentes ángulos en el amortiguador. En este caso enfocaremos el estudio en la primera configuración, con el amortiguador situado en un pequeño ángulo con respecto a la vertical y las bieletas anclado en la posición inferior del balancín.

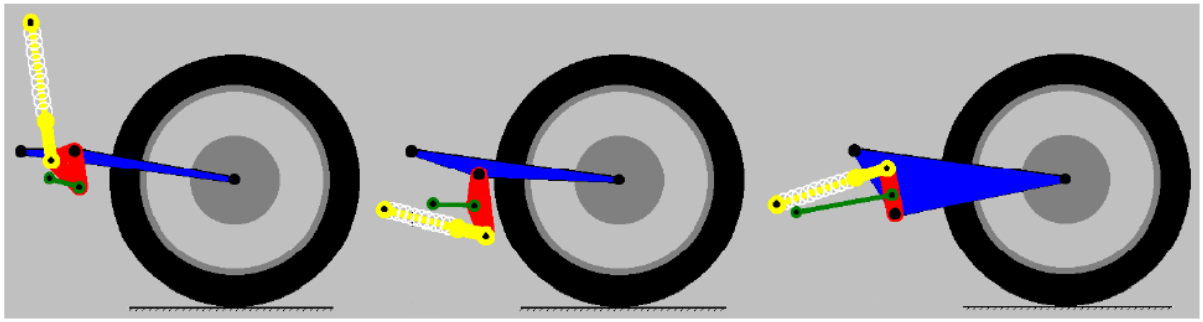


Imagen 4-21: Configuraciones diferentes con balancín conectado a basculante Ref.[2]

Para realizar un análisis del sistema de suspensión cambiaremos la longitud de las bieletas, observando los cambios que se producen en nuestro sistema. La longitud en la unión cambia en los tres casos, por la que las fuerzas y los desplazamientos de la rueda trasera cambiarán consecuentemente.

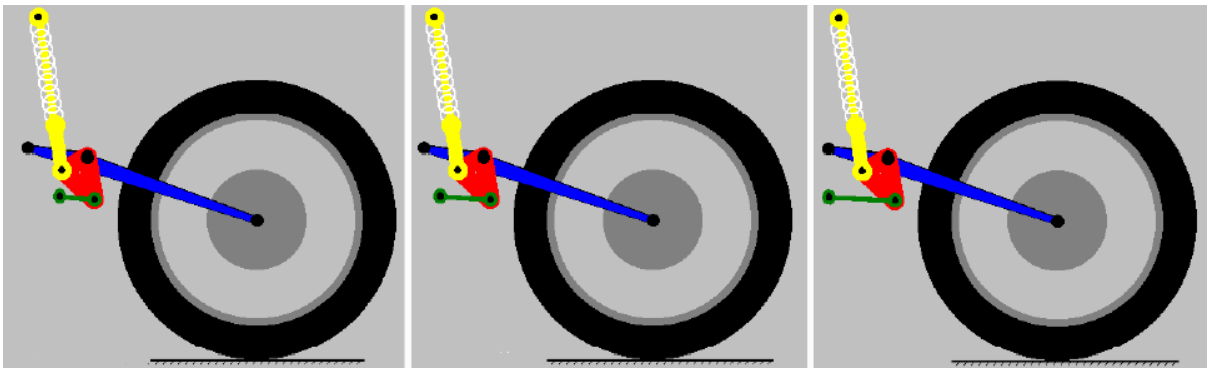


Imagen 4-22: Sistemas con diferentes longitudes de bieletas Ref.[2]

Como podemos observar en la imagen de debajo, la configuración con las bieletas más pequeñas (curva negra) tiene un efecto más progresivo que los otros dos sistemas con bieletas más largas. De hecho, el sistema con las bieletas más largas llega a tener un comportamiento regresivo, por lo que la tasa de amortiguación desciende con el desplazamiento de la rueda en el proceso de suspensión.

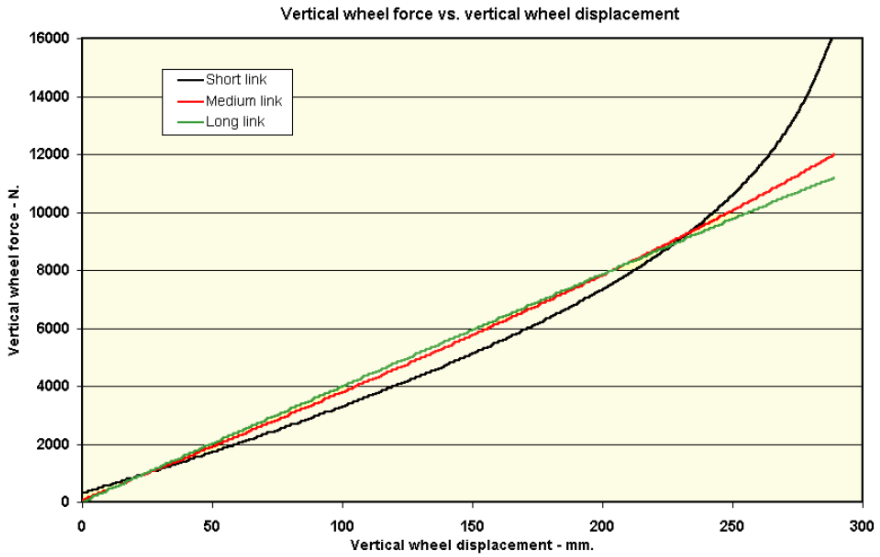


Imagen 4-23: Gráfica 6 fuerza vertical en la rueda - mov. vertical de la rueda Ref.[4]

4.5. TÉCNICAS Y MATERIALES DE FABRICACIÓN

A continuación, tras los estudios de la geometría y de la dinámica de la motocicleta, nos centramos en la parte de la fabricación del basculante, las diferentes técnicas y materiales de las que nos podemos valer para desarrollar nuestro prototipo.

4.5.1. Métodos de fabricación en la industria de la motocicleta

Para el desarrollo de la fabricación de un componente debemos reflexionar cual de los métodos nos conviene más. Podremos mecanizar alguna parte de nuestro prototipo, siempre llegando a un compromiso debido al alto precio de una pieza mecanizada. Nos podemos valer de materiales comerciales, como perfiles cuadrados o circulares, mucho más baratos que las piezas mecanizadas.

También debemos tener en cuenta la propiedades de los materiales, como son su ductilidad en el caso de que queramos doblarlo o la capacidad de soldar el material. En el caso de que elijamos el método de soldadura tendremos que calcular los esfuerzos en la soldadura para garantizar su viabilidad y deberemos buscar un soldador. Para el caso del doblado nos fijaremos en las propiedades mecánicas del material, ya que con gran radios de doblados y pequeños espesores podríamos debilitar el material en el proceso de doblado.

4.5.2. Materiales para la fabricación de una motocicleta

Desde finales del siglo XIX los materiales principales fueron los principales aceros suaves que se utilizaban en la industria de aquella época. Las motocicletas estaban compuestas por tubos soldados, muchos de los cuales habían sido previamente doblados para dar la forma deseada del chasis o el basculante. En los últimos años, especialmente desde comienzos del siglo XXI, se está introduciendo nuevos materiales como el aluminio, el titanio, el magnesio o la fibra de carbono.

El aluminio se empezó a introducir en algunas partes de motocicletas de competición con el objetivo de reducir su peso. Las propiedades físicas de este material lo hacen idóneo para la fabricación de una motocicleta, en especial aquellas de competición en las que el coste se ve amortizado por las buenas prestaciones que ofrece el aluminio. Las principales propiedades son la ligereza, llegando a ser un tercio del peso del acero con gran resistencia frente al peso, la resistencia a la corrosión y la durabilidad. Además su precio es bajo y podemos obtenerlo de un proveedor local.

El material que está llamado a revolucionar la industria de la automoción es la fibra de carbono. Actualmente muchas motocicletas de gama alta introducen muchos componentes fabricados en este material, como el carenado, el depósito o el basculante. Sus altas prestaciones como su baja densidad, alta resistencia mecánica y resistencia a los factores externos, hacen de él uno de los mejores materiales para la fabricación de los componentes. El mayor inconveniente de este material es su elevado precio por la dificultad de fabricación del mismo.

Imagen 4-24: Motocicleta Honda RC213V-S Ref.[15]

5. PLANTEAMIENTO DEL DISEÑO

5.1. LIMITACIONES DE LA COMPETICIÓN

A continuación se expone las limitaciones que la competición internacional MotoStudent exige para el diseño del basculante. Esta información ha sido obtenida del Reglamento de la Competición Ref.01.2017, disponible en la web de la competición.

5.1.1. Limitaciones dimensionales

Las dimensiones de la motocicleta son libres exceptuando los requisitos básicos expuestos a continuación.

5.1.1.1. La anchura mínima entre los extremos de los semimanillares debe ser de 450mm.

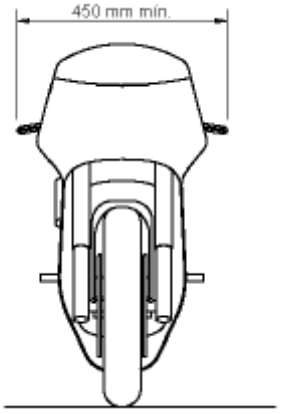


Imagen 5-1: Anchura semimanillares Ref.[14]

5.1.1.2 El ángulo mínimo de inclinación lateral de la motocicleta sin que ningún elemento de la misma (exceptuando los neumáticos) toque el pavimento debe ser 50º. Dicha medición se realizará con la motocicleta descargada (es decir, sin piloto) pero con todo el equipamiento y líquidos para su funcionamiento.

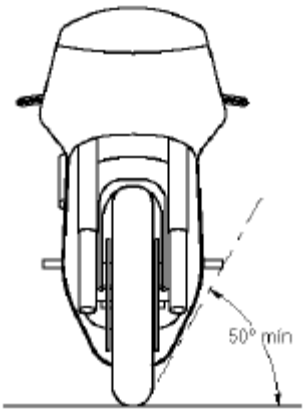


Imagen 5-2: Ángulo inclinación Ref.[14]

5.1.1.3 La distancia libre al pavimento con la motocicleta en posición vertical ha de ser de un mínimo de 100mm en situación de reposo. Esta medición se realizará con la moto descargada (es decir, sin piloto), pero con todo el equipamiento y líquidos para su funcionamiento (incluyendo 1 litro de gasolina en las motocicletas de la Categoría MotoStudent Petrol).

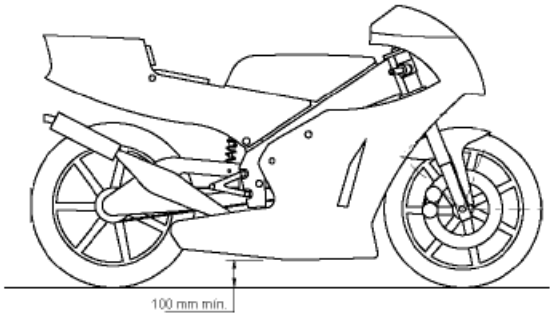


Imagen 5-3: Altura mínima Ref.[14]

5.1.1.4 Límite frontal: Ningún elemento de la motocicleta podrá sobrepasar la vertical frontal trazada tangencialmente a la circunferencia exterior del neumático delantero.

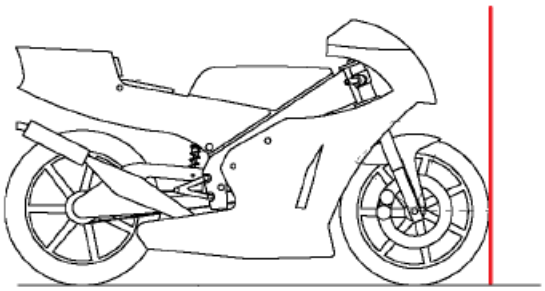


Imagen 5-4: Límite frontal Ref.[14]

5.1.1.5 Límite posterior: Ningún elemento de la motocicleta podrá rebasar la línea tangente vertical trazada a la circunferencia exterior del neumático trasero.

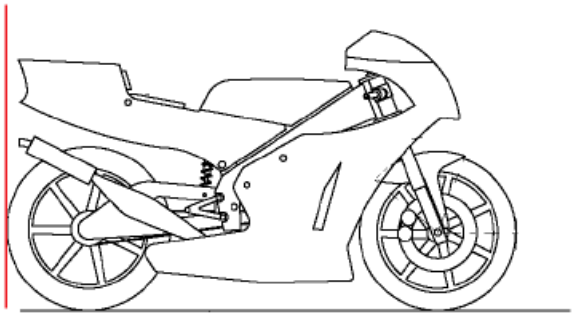


Imagen 5-5: Límite posterior Ref.[14]

5.1.1.6 La banda de rodadura de los neumáticos deberá presentar una distancia libre mínima de 15mm a lo largo de su circunferencia exterior a cualquier elemento de la motocicleta, en cualquier posición de la misma y para cualquier reglaje de geometrías.

5.1.1.7 La anchura máxima del asiento no debe rebasar los 450mm. No podrá sobresalir de esa anchura ningún otro elemento de la motocicleta del asiento hacia detrás, excepto el sistema de escape para motos de la categoría “MotoStudent Petrol”.

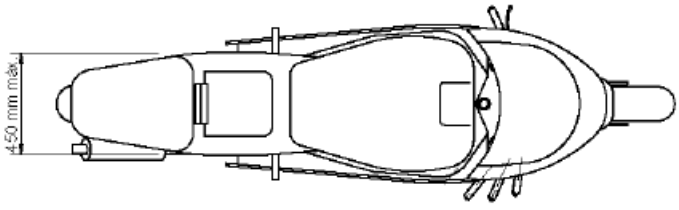


Imagen 5-6: Anchura máxima asiento Ref.[14]

5.1.1.8 La anchura máxima del carenado será de 600mm.

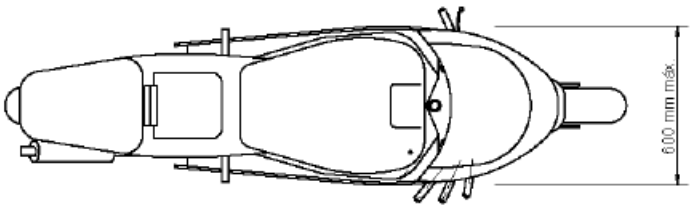


Imagen 5-7: Anchura máxima carenado Ref.[14]

5.1.1.9 Entre la altura del asiento será de 150mm.

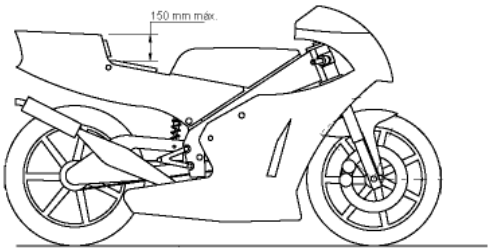


Imagen 5-8: Altura máxima asiento Ref.[14]

5.1.2. Limitaciones de la amortiguación trasera

Debido al tema desarrollado en este proyecto fin de grado, estas limitaciones son de gran importancia y deben ser estudiadas detenidamente.

5.1.2.1 Los amortiguadores de suspensión trasera deberán ser de tipo convencional, sin botellas o depósitos exteriores, ya sean anexos al cuerpo principal o comunicados mediante latiguillos.

5.1.2.2 El conjunto de suspensión trasera podrá disponer de sistemas de ajuste mecánicos o hidráulicos, tales como regulación de precarga del muelle, regulación de compresión, extensión o rebote.

5.1.2.3 Cualquier sistema de ajuste de suspensión trasera deberá estar integrado en el propio cuerpo del amortiguador. No se admitirán sistemas de regulación externos comunicados mediante latiguillos, sirgas, etc..

5.1.2.4 Está prohibida la instalación de amortiguadores traseros de longitud regulable.

5.1.3. Limitaciones de los neumáticos

En cuanto al neumático trasero, parte que nos afecta directamente en el dimensionamiento y el diseño de la suspensión trasera, la normativa es:

REAR TIRE

SIZE	MODEL	RIM SIZE	WIDTH	DIAMETER CENTER	DIAMETER SHOULDER	WEIGHT	COLD PRESSURE	WORK PRESSURE
115/70R17	KR133	3,5"	115,1 mm	601,3 mm	512 mm	3.9 Kg	1.8 – 1.9 bar	2.1 – 2.5 bar

Tabla 1: Características de los neumáticos Ref.[14]

Los neumáticos nos los aporta la organización MotoStudent, por lo que para nuestro diseño ya contamos con estos datos definitivos.

5.2. LIMITACIONES PROPIAS

Nuestra mayor limitación será el presupuesto, definido previamente con el equipo. Tras meses buscando patrocinadores, conseguimos que varias empresas nos ayudaran económicamente, pero estos recursos eran limitados. El estudio del presupuesto se analiza en un capítulo aparte.

Otra de las limitaciones será el tiempo disponible para el diseño, la fabricación y el montaje de la motocicleta siendo su límite el mes de septiembre de 2016.

5.3. DISEÑO DINÁMICO DE LOS ELEMENTOS DE LA MOTOCICLETA

En el proceso de diseño de una motocicleta se debe tener en cuenta cada elemento que constituye el sistema. Todas las partes deben ser analizadas con detenimiento, ya que van

a ser sometidas a altos esfuerzos que podría llevarlos a su rotura. A continuación plantearemos los principales elementos a estudiar en el diseño de la suspensión trasera y el basculante en una motocicleta de competición, como son:

- Cálculo del punto pivote entre el chasis y el basculante
- Cálculo de la tensión de la cadena
- Estudio de las soldaduras y los rodamientos

Posteriormente en el anexo correspondiente (1. Análisis dinámico del basculante y sus elementos, apartado 1.5. Cálculo de los elementos del sistema de suspensión) estos cálculos se desarrollan en mayor profundidad.

5.3.1. Cálculo del punto pivote entre el chasis y el basculante

El punto pivote en una motocicleta es aquel eje donde se produce la unión entre el chasis de la motocicleta y el basculante. Este punto es de gran importancia, ya que será la referencia sobre la cual la suspensión girará y determinará, junto con otros factores, el comportamiento de la suspensión.

Para situar este eje deberemos trabajar junto con el diseñador del chasis Gonzalo Martínez y llegar a un acuerdo para la posición del mismo. Tras realizar un estudio de la motocicletas de competición actuales, con el tamaño y la cilindrada que nos permite de la competición, llegamos a una solución. Partiendo de la base de una KTM 250cc, desarrollada para el mundial de motociclismo, obtenemos el siguiente punto para el pivote de nuestra motocicleta:

- Distancia horizontal con respecto del eje trasero de la rueda: 500 mm
- Distancia vertical respecto del suelo: 338 mm

Esta distancia del eje pivote con respecto al eje trasero nos marcará la longitud de nuestro basculante y el ángulo del mismo con respecto a la horizontal. Estas dimensiones están analizadas con más detalle en el capítulo 6. Descripción de la solución final, apartado 6.3. Dimensiones generales.

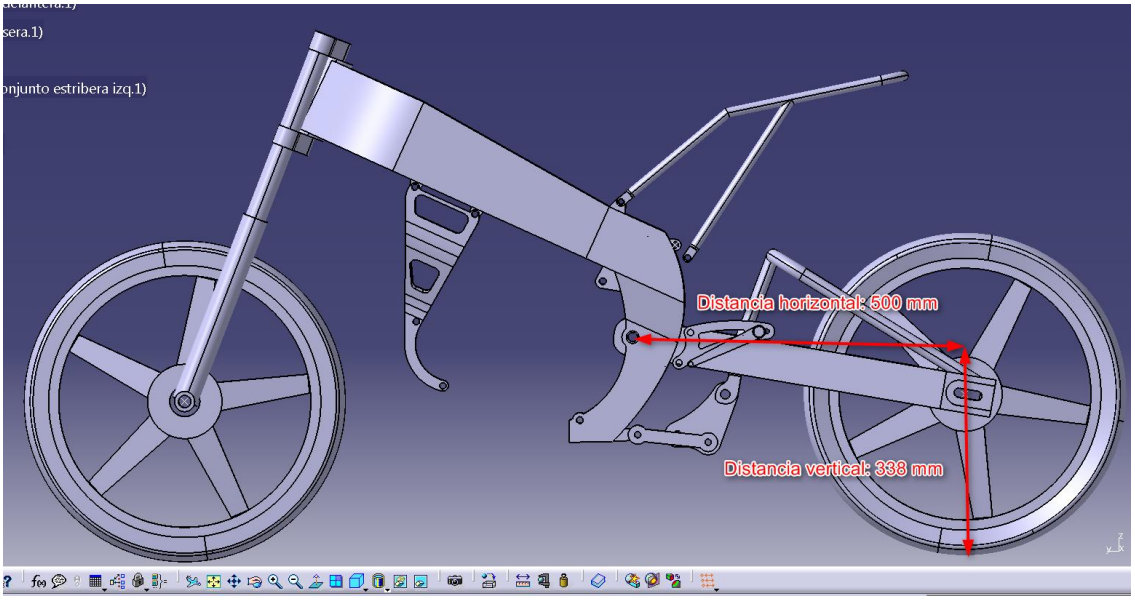


Imagen 5-9: Posición de la unión chasis-basculante

5.3.2. Cálculo de la tensión de la cadena

Para el cálculo de la tensión de la cadena debemos plantear primero el sistema de transmisión o kit de arrastre que vamos a disponer en nuestra motocicleta. En conjunto con el equipo decidimos disponer de dos piñones (engranaje del eje del motor) y de tres catalinas (engranaje del eje de la rueda) con las siguientes características:

- Piñón: 12 dientes y diámetro 55mm; 14 dientes y diámetro 77,5mm
- Catalina o corona: 37 dientes y diámetro 194mm ; 38 dientes y diámetro 200mm; 39 dientes y diámetro 204mm;

Esta variación de piñones y catalinas nos permite ajustar las prestaciones de la motocicleta para las diferentes pruebas de la competición ya que con los diferentes juego obtenemos diferentes relaciones de transmisión. Cuanto más baja sea ésta mayor será la velocidad final y menor la fuerza que ejerce. En cambio, cuanto mayor sea la relación mayor será la fuerza y aceleración y menor la velocidad final. Esta última configuración será la que utilizaremos para pruebas como la Gymkana que requiere de grandes aceleraciones y bajas velocidades. Para la clasificación y la carrera utilizaremos la de menor relación de transmisión por la necesidad de gran velocidad punta. El desarrollo de los cálculos para el tren de arrastre se realiza en el anexo 1. Análisis dinámico de l basculante, apartado 1.5. Cálculo de los elementos de la suspensión.

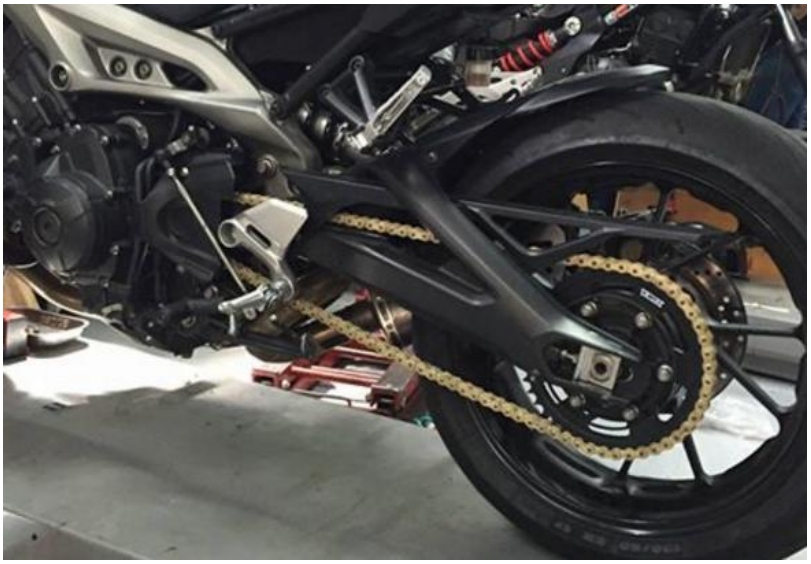


Imagen 5-10: Kit de arrastre Yamaha MT 09 Ref.[15]

5.3.3. Estudio de las soldaduras y los rodamientos

En el proceso del diseño de un sistema de cualquier sistema formado por varios subconjuntos deberemos estudiar el comportamiento de estos elementos frente a los esfuerzos que se van a desarrollan en el sistema. Estos elementos, en el caso de un sistema de suspensión y un basculante incluye el proceso de soldadura que forma el basculante y los rodamientos que hace pivotar al mismo con respecto del chasis. Estos cálculos se desarrollan en el anexo 1. Análisis dinámico del basculante y sus elementos, apartado 1.5. Cálculo de los elementos del sistema de suspensión.

En el proceso constructivo de la motocicleta la soldadura constituye la unión de las diferentes partes del basculante. Como se ha estudiado en el apartado 4.5. Técnica y materiales de fabricación, la soldadura nos permite unir diferentes partes mecanizadas, como los alojamientos para los ejes, con perfiles comerciales. Esta técnica de soldadura abarata el coste de fabricación del prototipo, ya que los otros método como la mecanización completa o un molde de fundición resultaría mucho más caro.

Las soldaduras deberán estudiarse para hallar los esfuerzos en el cordón de soldadura y verificaremos si estos esfuerzos están por debajo de los límites del material. En el caso de que los esfuerzos sean superiores deberemos aumentar el cordón de soldadura hasta que los esfuerzos sean inferiores al límite del cordón.

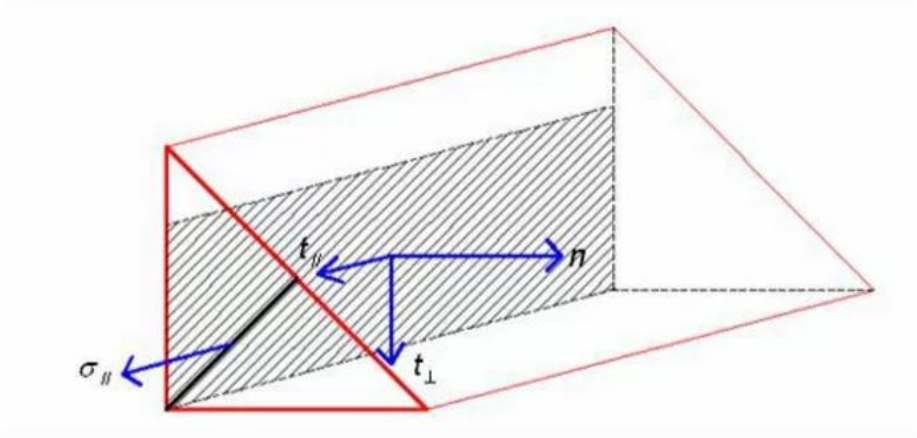


Imagen 5-11: Fuerzas en el plano de soldadura Ref.[16]

Otro de los elementos de nuestro sistema son los rodamientos situados en el alojamiento del pivote, donde se encuentra el eje que conecta el chasis y el basculante. Estos rodamientos sitúan el eje y permiten su giro en el proceso de suspensión, al disponer de bolas o rodillos entre discos de rodadura. Al existir numerosos tipos de rodamientos, debemos seleccionar aquel que se ajuste más a nuestras necesidades

Al igual que en la soldadura, calculamos los esfuerzos en los rodamientos y estudiamos cómo se comportan las cargas en nuestro elemento. Estos cálculos se detallan en el anexo 1. Análisis dinámico del basculante y sus elementos, apartado 1.5. Cálculo de los elementos del sistema de suspensión. También estudiaremos la capacidad de carga y la vida útil de los rodamientos elegidos en nuestro diseño.

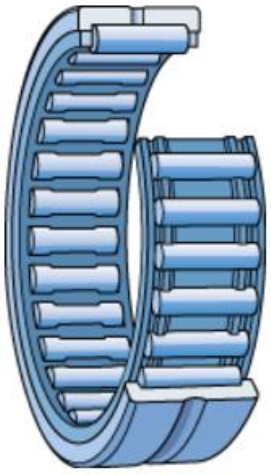


Imagen 5-12: Rodamiento de agujas Ref.[10]

5.4. SOLUCIONES ESTUDIADAS

Una vez estudiados todos los sistemas de suspensión que se pueden dar, (4.3. Tipos de suspensión actuales), deberemos definir una serie de parámetros que nos ayuden a comparar los diferentes modelos posibles, con sus ventajas y desventajas. Los cálculos desarrollados con estos parámetros se encuentran en el anexo correspondiente (3. Estudio y simulación del comportamiento de la suspensión), en el que se profundiza en el estudio de la suspensión.

En el análisis dinámico realizado en los capítulo anteriores y en el Anexo 1 Cálculo dinámico de los elementos del basculante, obtuvimos las diferentes fuerzas que se desarrollan en el basculante. Muchas de ellas eran representadas en diferentes gráficas, obteniendo rectas o curvas en las que estudiábamos diferentes comportamientos. Los parámetros principales comparados hasta ahora han sido:

- Desplazamiento del amortiguador frente al desplazamiento de la rueda
- Fuerzas en la rueda y en el amortiguador frente al desplazamiento de la rueda
- Energía almacenada en el amortiguador en el proceso de suspensión

Sin alguna duda, el parámetro más importante de todos los estudiados es el desplazamiento del amortiguador ya que si este no trabaja (no se desplaza) ante una fuerza exterior como un bache, la suspensión no tiene sentido alguno.

Las diferentes soluciones a estudiar serán las diferentes configuraciones de posición entre el amortiguador, el balancín y las bieletas, es decir, los elementos que forman el sistema de suspensión. Nos centraremos en los dos sistemas principales, el sistema Pro-Link desarrollado por Honda y el sistema Uni-Track patentado por Kawasaki. Ambos sistemas se han demostrado como los mejores, dado que actualmente todas las marcas montan estos sistemas en sus motocicletas, tanto de carretera como de competición.

5.4.1. Configuración de amortiguación mediante el sistema Pro-Link

En este sistema de suspensión el balancín está unido al basculante. A la vez este balancín está conectado al amortiguador y a las bieletas, que realizan la unión con el chasis. Procedemos al estudio del sistema, con los valores de nuestro diseño inicial.

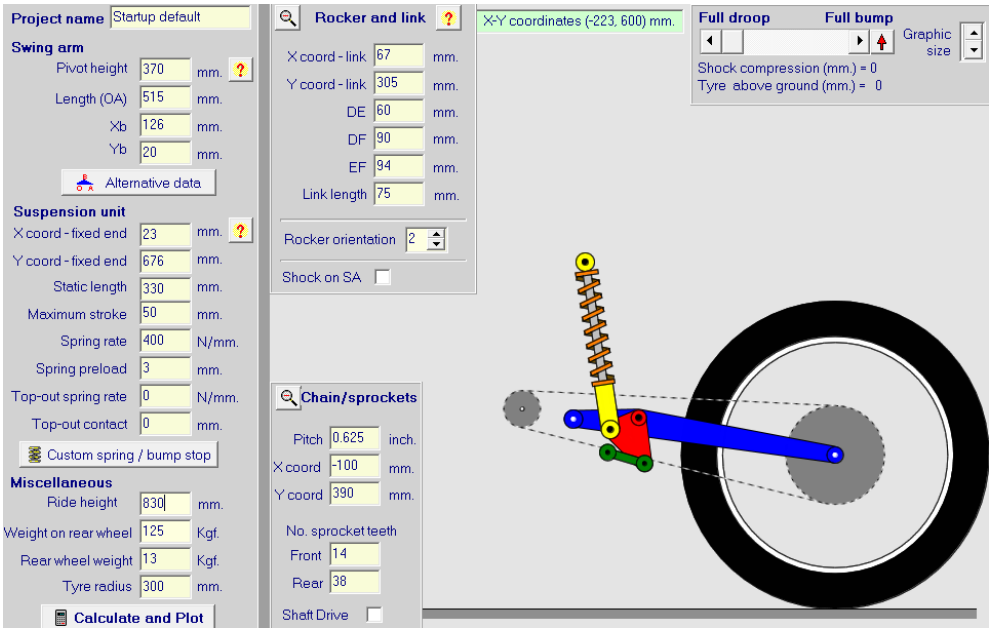


Imagen 5-13: Configuración de la suspensión Pro-Link Ref.[2]

A continuación representamos los gráficos que nos ayudan a entender el comportamiento de la suspensión, como son las curvas de la fuerza del muelle y del amortiguador con respecto al movimiento vertical de la rueda. Como podemos observar, la configuración actual de nuestra suspensión origina una movimiento en la rueda con un comportamiento muy lineal, por lo que cambiaremos algún parámetro en nuestro diseño o no seleccionaremos este tipo para nuestro prototipo final. Este estudio está desarrollado en el apartado posterior (5.5. Variación de parámetros) y en el anexo correspondiente (3. Estudio y simulación del comportamiento de la suspensión).

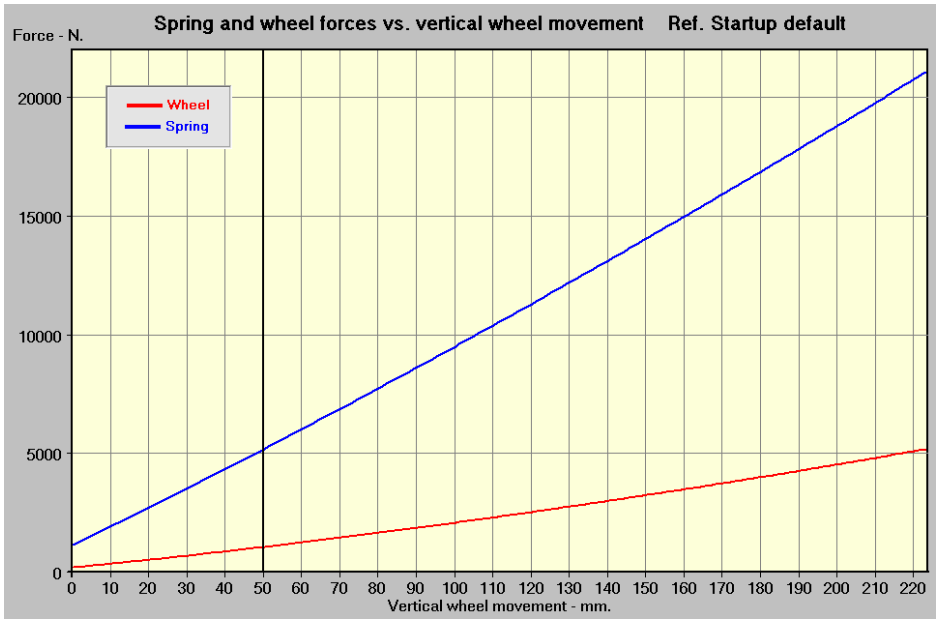


Imagen 5-14: Gráfica 7 Fuerza - Mov. vertical de la rueda Ref.[2]

5.4.2. Configuración de amortiguación mediante el sistema Uni-Track

En este sistema de suspensión las bieletas se encuentran conectada al balancín y al basculante. El balancín une las bieletas y el amortiguador al chasis, ejerciendo de elemento ternario y de pivote en su unión con el chasis. Procedemos al estudio con los datos del primer diseño de nuestra suspensión.

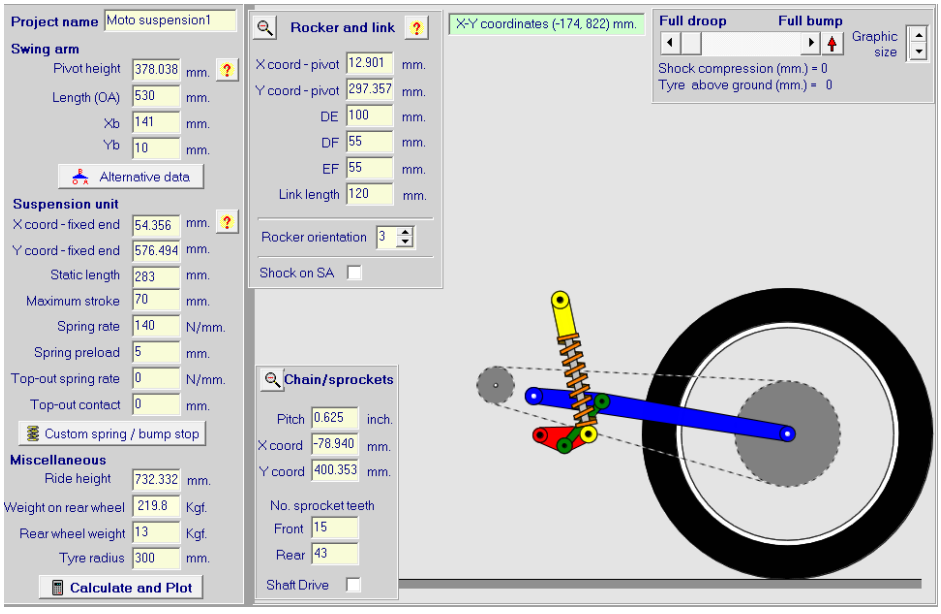


Imagen 5-15: Configuración de la suspensión Uni-Track Ref.[2]

Como podemos en la gráfica inferior, la curva de fuerza de la rueda con respecto de su movimiento de de la fuerza del muelle son mucho más pronunciadas que en el caso anterior. Esto nos indica una mayor progresividad en el sistema de suspensión. El análisis de este estudio se encuentra en el anexo 3. Estudio y simulación del comportamiento de la suspensión.

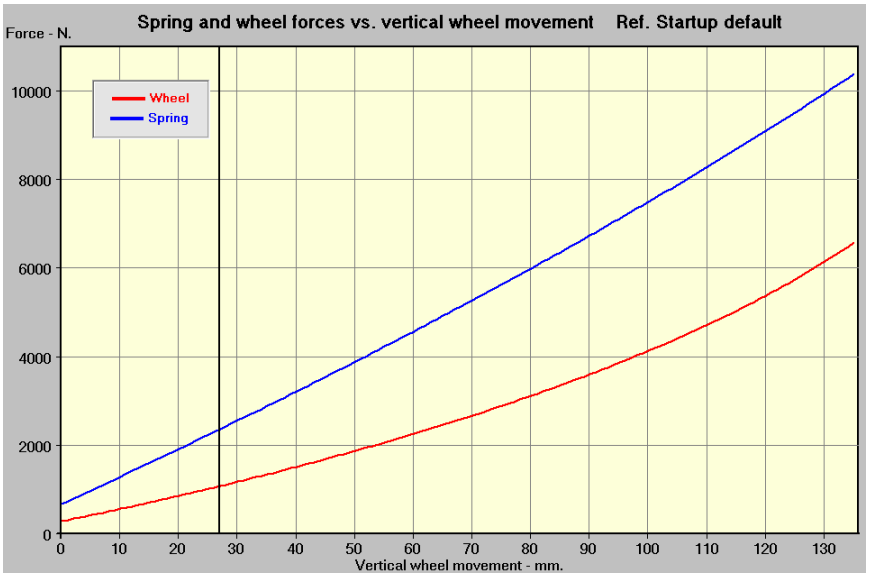


Imagen 5-16: Gráfica 7 Fuerza - Mov. vertical de la rueda Ref.[2]

Por tanto, después de revisar los parámetros estudiados, elegimos este sistema de suspensión para el diseño final de la motocicleta.

5.5. VARIACIÓN DE PARÁMETROS

En el estudio realizado anteriormente hemos partido de un parámetro principal acordado con el diseñador del chasis, la longitud del basculante y su ángulo con respecto a la horizontal, el cual no podremos modificar, y hemos decidido el sistema de suspensión a utilizar. A continuación analizaremos como podemos optimizar nuestro diseño, estudiando cada elemento en detalle. Un estudio más detallado del comportamiento de la suspensión variando estos parámetros está reflejado en el correspondiente anexo (3. Estudio y simulación del comportamiento de la suspensión)

Por tanto, podremos modificar el resto de parámetros de nuestro diseño:

- Longitud de las bieletas
- Precarga del amortiguador

5.5.1. Longitud de las bieletas

El caso de la variación en la longitud de las bieletas ya se estudio para el caso de 4.4.3. Estudio del caso sistema de balancín conectado al basculante con bieletas, como se pudo observar en el sistema estudiado, con unas bieletas más cortas se obtenía una mayor progresividad. Para el caso de unas bieletas muy largas, el efecto obtenido llegaba a ser regresivo. En nuestro diseño fabricaremos tres tipos de bieletas con tres longitudes diferentes adaptando así el diseño a la condiciones que busquemos. En la competición nos encontramos con dos pruebas muy diferentes, como son la Gymkana y la carrera, en las que la configuración de la moto cambiará, adaptándose a las necesidades de cada una.

5.5.2. Precarga del amortiguador

La competición MotoStudent nos permite montar en nuestra motocicleta un amortiguador regulable en precarga. Este tipo de sistema en los amortiguadores consisten en una rosca que gira solidaria con el eje del muelle y que regula la tensión del muelle. Deberemos modificar la dureza del muelle para adaptarlo al peso del conjunto motocicleta-piloto, las condiciones de la pista o el modo de conducción del piloto. Estos ajustes también nos permiten modificar el recorrido del amortiguador y la energía disipada por el mismo.

5.6. CÁLCULO DE FUERZAS: SOFTWARE MULTI-BODY

Para realizar el correcto diseño de cualquier elemento debemos saber cuáles son las fuerzas que va a soportar el mismo. Éste estudio es fundamental para el posterior análisis estructural, ya que en el caso de fallar en los cálculo podríamos poner en riesgo la viabilidad de nuestro proyecto y la salud del piloto. El cálculo detallado de los esfuerzos se realiza en el anexo 1. Análisis dinámico del basculante y sus elementos y en el apartado 1.4. Cálculo de los esfuerzos mediante Working Model.

Comenzamos el cálculo estudiando las diferentes fuerzas que se van a producir sobre el basculante y los elementos de la suspensión. La competición nos somete a una prueba donde nos sitúa una carga de 3000N (300 kg) en la rueda trasera y otra carga de 2500N (250 kg) en el sillín de la motocicleta. Durante la carrera las mayores fuerzas que se darán

sobre estos cuerpos serán en la situaciones de aceleración máxima y de frenada máxima, donde todo el peso se traslada a la rueda trasera o a la rueda delantera correspondientemente.

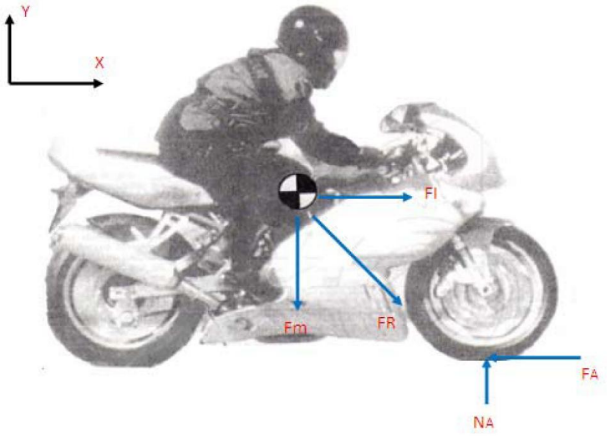


Imagen 5-17: Fuerzas sobre rueda delantera

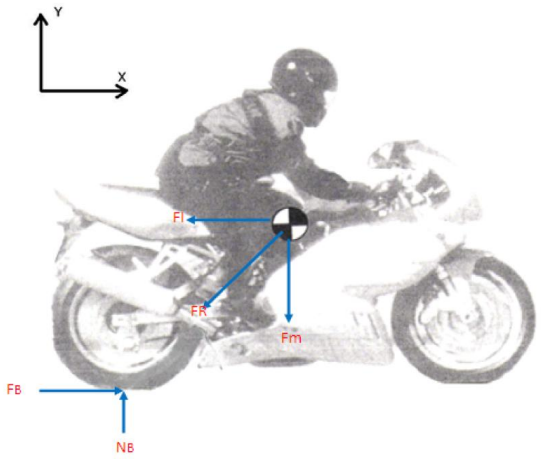


Imagen 5-18: Fuerzas sobre rueda trasera

Tras este estudio podemos concluir que las mayores fuerzas que se producirán en la motocicleta serán las de la prueba estática desarrollada por la competición, es decir 3000N en la rueda trasera y 2500N en el sillín.

Con estos datos podemos pasar al estudio dinámico mediante un software de análisis multi-cuerpo, donde analizamos como se trasmiten las fuerzas, los vectores de las mismas, y la

situación final en régimen permanente, una vez estabilizado el modelo. Para este análisis utilizaremos el software Working Model, un programa que nos provee la Universidad de Cantabria gratuitamente.

A continuación dibujaremos nuestro modelo, simplificando los elementos con geometrías simples y dándoles una masa determinada.

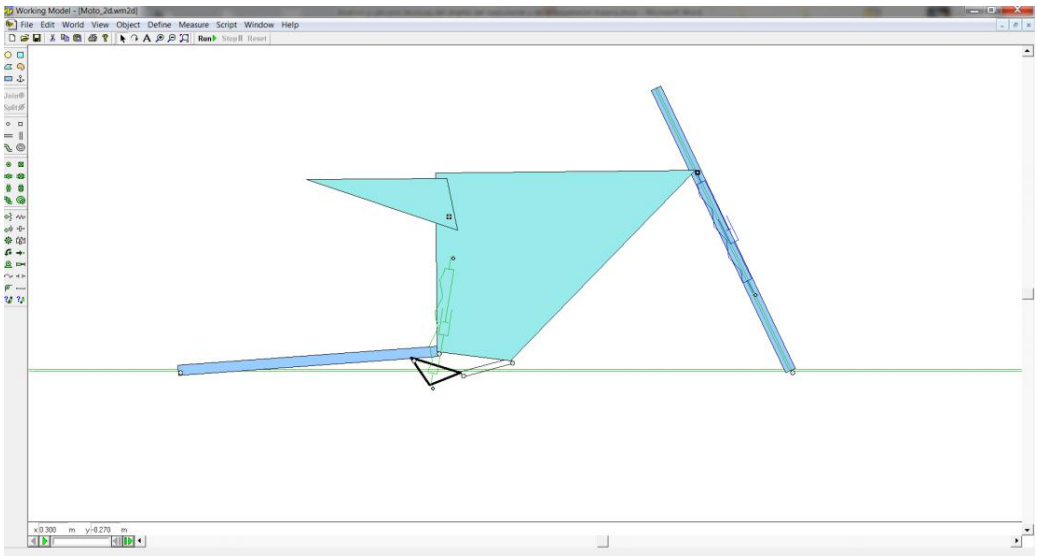


Imagen 5-19: Modelo de motocicleta en WM Ref.[12]

Posteriormente situamos las cargas mencionadas anteriormente de 3000N en el eje de la rueda trasera y de 2500N en el sillín.

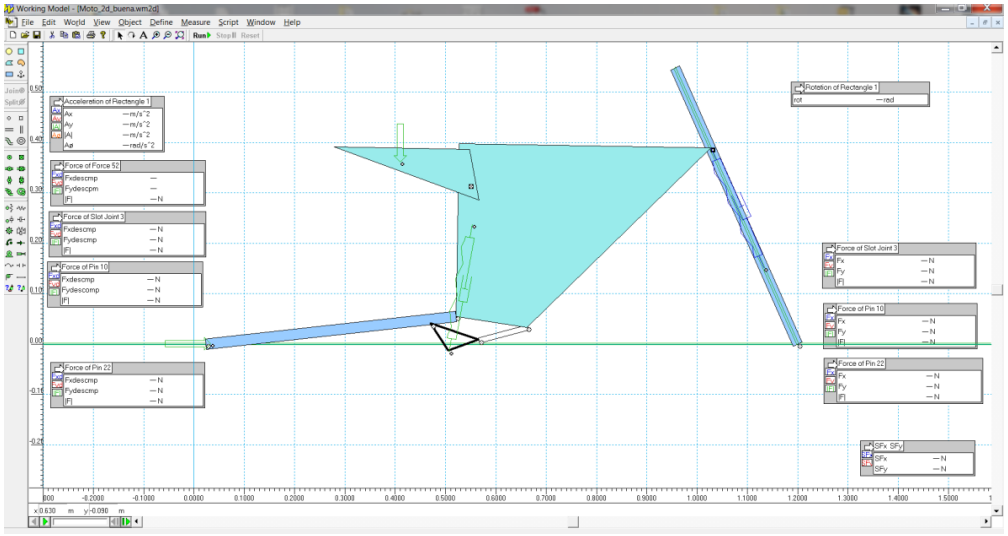


Imagen 5-20: Fuerzas sobre el modelo Ref.[12]

Por último simulamos estas fuerzas y, cuando el modelo haya llegado al estado estacionario, obtenemos las fuerzas en los elementos deseados.

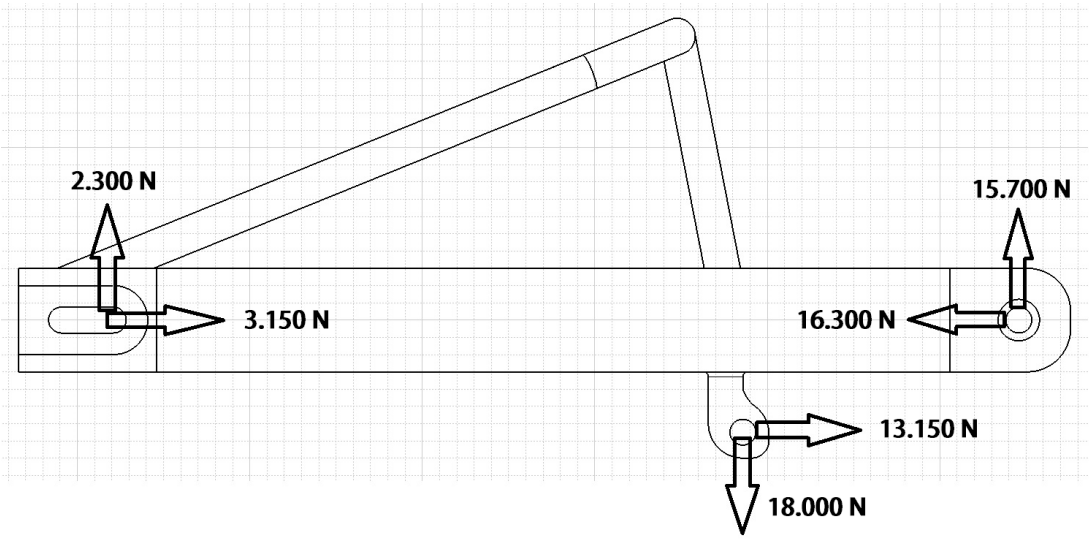


Imagen 5-21: Fuerzas resultantes sobre el basculante

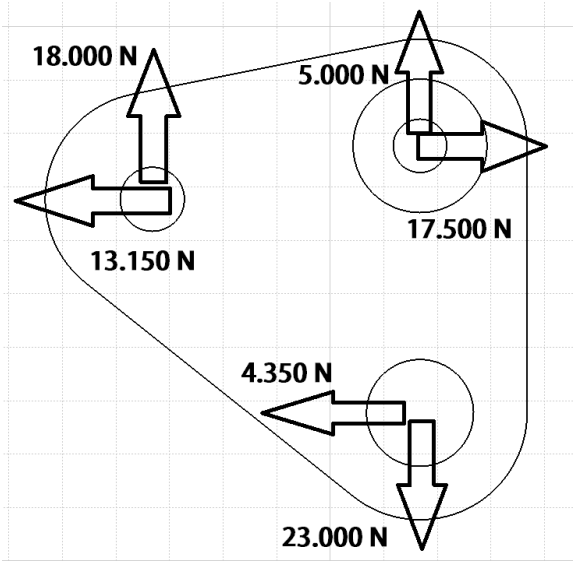


Imagen 5-22: Fuerzas resultantes sobre el balancín

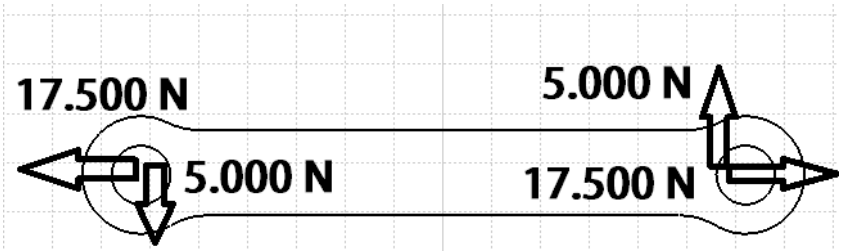


Imagen 5-23: Fuerzas resultantes sobre la bieleta

5.7. CÁLCULO ESTRUCTURAL: SOFTWARE ELEMENTOS FINITOS

Para realizar el cálculo estructural utilizaremos el método de elementos finitos mediante el programa Nastran-Patran. Este programa es un software abierto utilizado para el analizar elementos y sistemas estructurales. Nastran-Patran nos permite importar nuestra geometría para comenzar con el análisis

El método de elementos finitos se define como un método numérico que permite la solución aproximada de ecuaciones diferenciales parciales. En un cuerpo determinado con unas ecuaciones diferenciales que caracterizan su comportamiento, el método de elementos finitos nos permite discretizar el cuerpo y "dividirlo" en pequeños nodos que posteriormente serán analizados. El conjunto de los nodos forman mallas y, en nuestro modelo, tendremos tres mallas para cada tipo de cuerpo. En las partes macizas definiremos una malla de tipo sólido, mientras que para los perfiles rectangulares y para la barra circular definiremos una malla 2D con un cierto espesor. El estudio detallado está desarrollado en el anexo 2. Análisis de tensiones mediante elementos finitos.

Tras importar nuestro diseño en 3D en el programa Nastran-Patran procedemos al mallado del basculante. El basculante está formando por dos vigas huecas que forman los brazos del mismo, por lo que la malla solo deberá ser igual al espesor de estas vigas. En la parte superior de las vigas está soldado un acoplamiento al que irá unido el chasis, mientras en la trasera irá la cajera donde va alojado el eje de la rueda trasera. Estas partes son macizas por lo que la malla será diferente a la de las vigas. Para mejorar la rigidez torsional del basculante hemos diseñado un tubo curvado en forma de "U" que irá soldado al mismo y un tubo que servirá de apoyo vertical. Estos tubos son huecos, con el mismo mallado que las vigas anteriores.

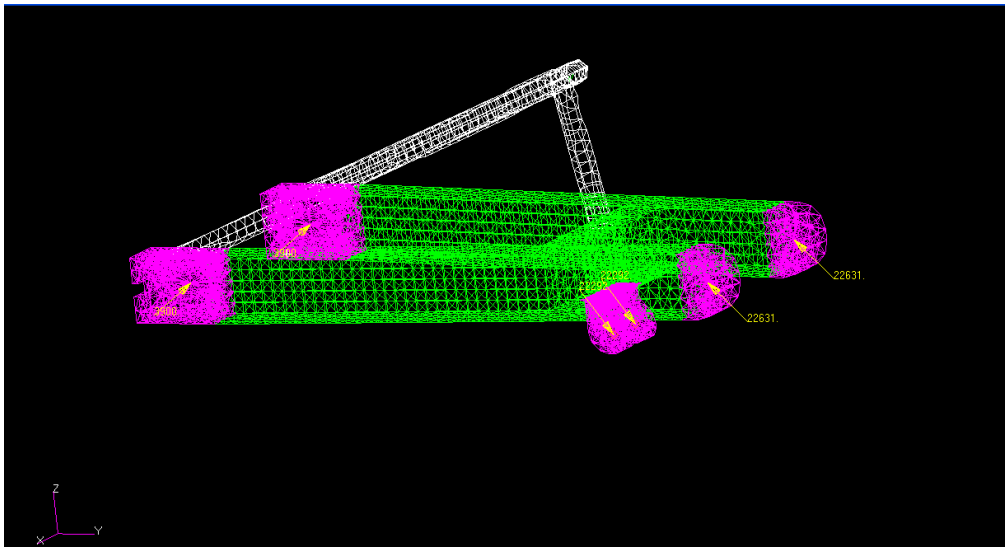


Imagen 5-24: Mallado del basculante y fuerzas Ref.[12]

Después de mallar nuestro cuerpo situaremos las cargas que hemos obtenido en el apartado anterior. Para situar las cargas definimos un punto virtual que corresponde a toda la cara del alojamiento y con el que conseguiremos que la fuerza se reparta por toda la superficie indicada. Posteriormente definimos las condiciones de fijación del cuerpo y analizamos los resultados obtenidos en la simulación.

6. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN FINAL

6.1. TIPOLOGÍA

Tras estudiar todos los tipos de sistemas de suspensión desarrollados hasta ahora en los apartados anteriores decidimos el diseño de un basculante de doble brazo fabricado en aluminio, con un refuerzo superior para mejorar la rigidez torsional. Para la suspensión diseñamos un sistema de bieletas y balancín, en el que el amortiguador estará conectado al balancín. Las bieletas y el balancín serán mecanizadas en aluminio. Para el amortiguador nos valdremos de uno de una motocicleta Honda CBR250R, cuya cilindrada, longitud y peso se asemejan a nuestro diseño.

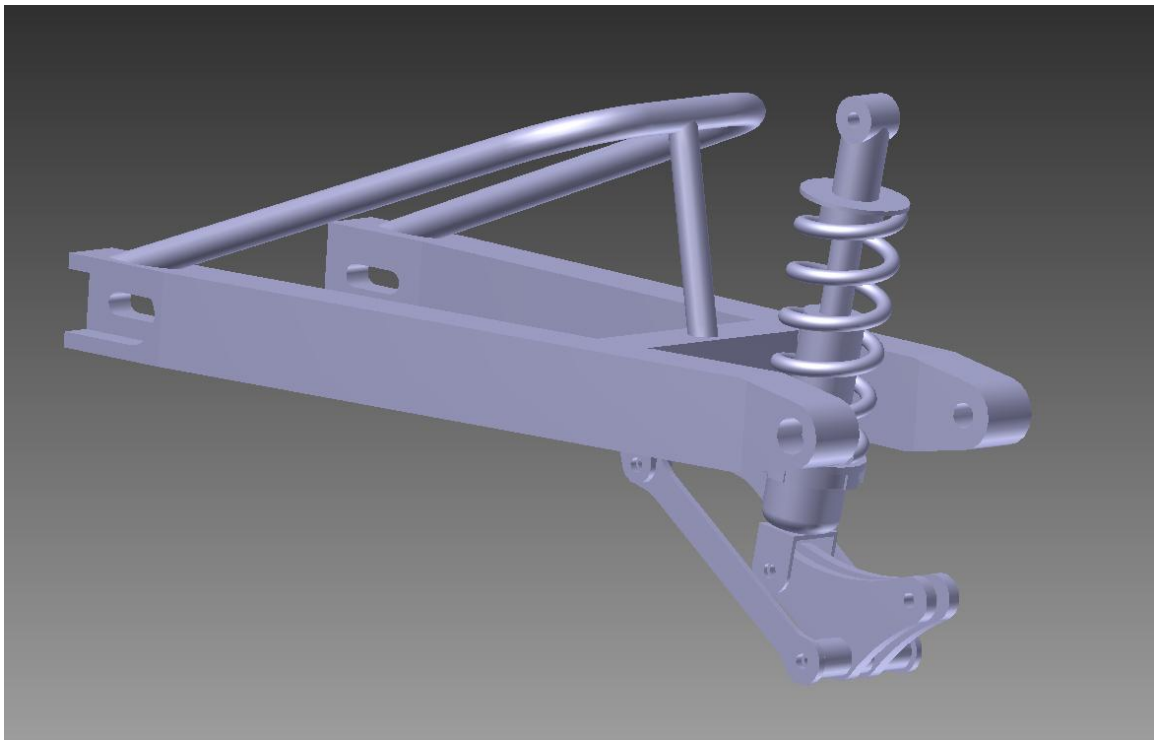


Imagen 6-1: Conjunto diseño suspensión

6.2. MATERIAL

Comenzamos esta cuestión mediante un análisis entre los componentes del equipo. Tras debatir el tema, descartamos por su precio y su dificultad de fabricación materiales como el magnesio o el titanio, algún tipo de poliamida o materiales orgánicos. Nos centraremos en el uso del acero o del aluminio para la fabricación de nuestro elementos, tanto del chasis como del basculante.

El acero nos ofrece como ventajas:

- Precio muy competitivo
- Mayor facilidad de moldeo y mecanizado, gran ductilidad y tenacidad
- Gran resistencia a tracción

Las desventajas del acero son su facilidad a la oxidación y corrosión, su susceptibilidad al pandeo y a la fatiga.

Las ventajas del aluminio son muy numerosas:

- Gran ligereza, un tercio de la del acero

- Excelente resistencia si se añaden otros metales, como el magnesio
- Resistencia a la corrosión y gran durabilidad

La principal desventaja del aluminio es la dificultad para soldarlo, pero antes de decidir el material hemos contactado con un soldador local que posee los conocimientos y la habilidad de la soldadura con aluminio, luego esta desventaja ya no nos incumbe.

La temporada pasada el equipo de la Universidad de Cantabria utilizó el acero para la fabricación del chasis y del basculante de su motocicleta. El resultado en carrera fue bueno, pero tuvieron numerosos problemas de oxidación y corrosión. Debido a este motivo y a los anteriormente expuestos nos decidimos a utilizar el aluminio en la fabricación de nuestra motocicleta.

Para los dos brazos del basculante utilizaremos aluminio de aleación EN AW 6082. El perfil será de 60x40 mm y el espesor 3mm. Este espesor podrá variar si en el posterior modelo de elementos finitos. En el caso de que nos saliera una tensión mayor de la tensión límite deberemos aumentar el espesor; en caso contrario podríamos reducirlo.

Las propiedades del aluminio elegido son las siguientes:

-6082- (ALUMINIO – MAGNESIO – SILICIO)

COMPOSICIÓN QUÍMICA

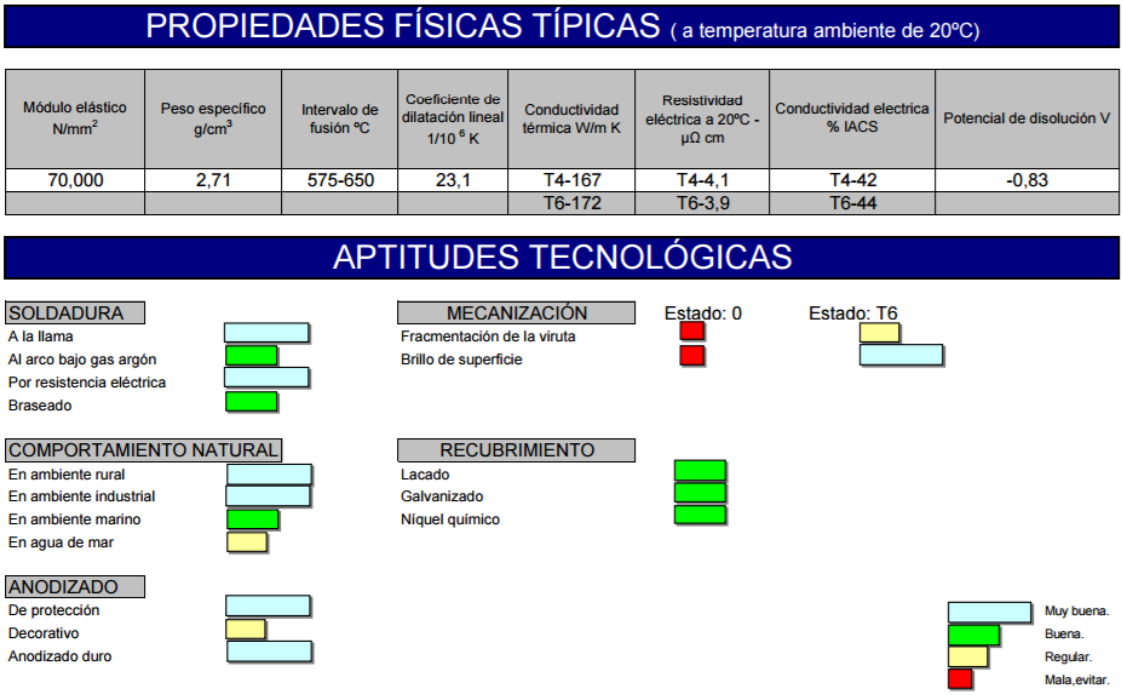
%	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Otros elementos		Al
									Otros	Total	
Mínimo	0,70			0,40	0,60						
Máximo	1,30	0,50	0,10	1,00	1,20	0,25	0,20	0,10	0,05	0,10	El resto

PROPIEDADES MECÁNICAS TÍPICAS (a temperatura ambiente de 20ºC)

	Características a la tracción					
Estado	Carga de rotura Rm. N/mm2	Límite elástico Rp 0,2, N/mm^2	Alargamiento A 5,65%	Límite a la fatiga N/mm^2	Resistencia a la cizalladura Ţ N/mm2	Dureza Brinell (HB)
0	130	60	27	120	85	35
T1	260	170	24	200	155	70
T4	260	170	19	200	170	70
T5	325	275	11	210	195	90
T6	340	310	11	210	210	95

Imagen 6-2: Propiedades Aluminio 6082 Ref.[17]

Los estados T1, T4, T5, T6 y T8 dependen del tratamiento al que se lleva a cabo el aluminio, como el caso de temple o maduración a temperatura constante.



PROPIEDADES FÍSICAS TÍPICAS (a temperatura ambiente de 20ºC)

Módulo elástico N/mm²	Peso específico g/cm³	Intervalo de fusión ºC	Coeficiente de dilatación lineal 1/10⁶ K	Conductividad térmica W/m K	Resistividad eléctrica a 20ºC - µΩ cm	Conductividad electrica % IACS	Potencial de disolución V
70,000	2,71	575-650	23,1	T4-167	T4-4,1	T4-42	-0,83
				T6-172	T6-3,9	T6-44	

APTITUDES TECNOLÓGICAS

Imagen 6-3: Propiedades Aluminio 6082 Ref.[17]

Para los perfiles de aluminio utilizaremos como proveedor a la empresa Alu-Stock de Navarra, que nos ofrece en su página web las siguientes características de los perfiles que utilizaremos:

50 x 30	3,00	1,259	14,213	6,181	5,685	4,121		—
50 x 40	2,00	0,975	12,466	8,782	4,986	4,391		—
50 x 40	4,00	1,860	21,910	15,198	8,764	7,599		—
55 x 15	1,50	0,570	6,736	0,798	2,449	1,064		—
60 x 10	1,50	0,570	7,197	0,337	2,399	0,674		—
60 x 20	1,50	0,655	9,764	1,666	3,255	1,666		—
60 x 20	2,00	0,862	12,585	2,089	4,195	2,089		—
60 x 30	2,00	0,975	15,950	5,298	5,317	3,532		—
60 x 30	3,00	1,428	7,279	22,507	4,853	7,502		—
60 x 35	2,00	1,032	7,535	17,633	4,306	5,878		—
60 x 40	1,50	0,825	14,899	7,940	4,966	3,970		—
60 x 40	2,00	1,089	19,315	10,227	6,438	5,114		—
60 x 40	3,00	1,599	27,385	14,313	9,128	7,157		—
60 x 40	4,00	2,087	34,505	17,801	11,502	8,900		—

Imagen 6-4: Perfiles de aluminio disponibles Ref.[18]

6.3. DIMENSIONES GENERALES

Las principal dimensión de una motocicleta es la distancia entre ejes, llamada batalla. En nuestro diseño la motocicleta tendrá una batalla de 1210 milímetros entre los ejes de la rueda. El basculante tendrá una longitud mínima de 525 milímetros y una máxima de 555, pudiendo regular la tensión de la cadena en el intercalo de 30 milímetros. El ángulo del basculante con respecto a la horizontal será de 10'2º, permitiendo el movimiento del amortiguador y el funcionamiento de la suspensión. Los planos acotados de cada elemento se encuentran en el capítulo PLANOS, posterior a los anexos a la memoria.

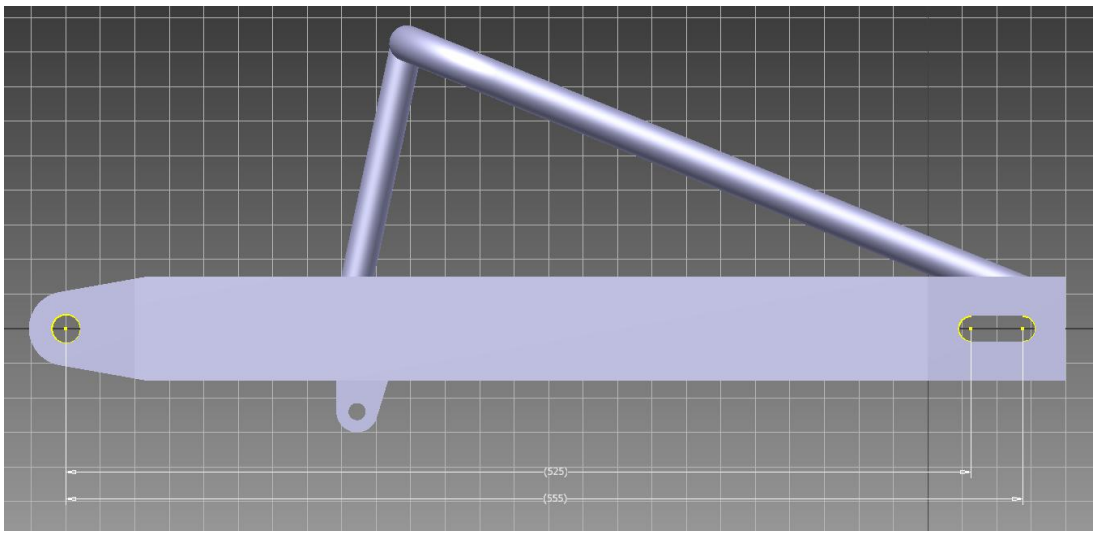


Imagen 6-5: Diseño del basculante

El balancín tendrá unas dimensiones que permiten el movimiento de la motocicleta en el recorrido de la suspensión. Es de gran importancia que el balancín permita el movimiento angular de las bieletas ya que si no la suspensión no tendrá ningún sentido. La distancia entre ejes será de 60'2 y 41'2, 49'7 y 53'4 y 113'7 y 8'5 milímetros.

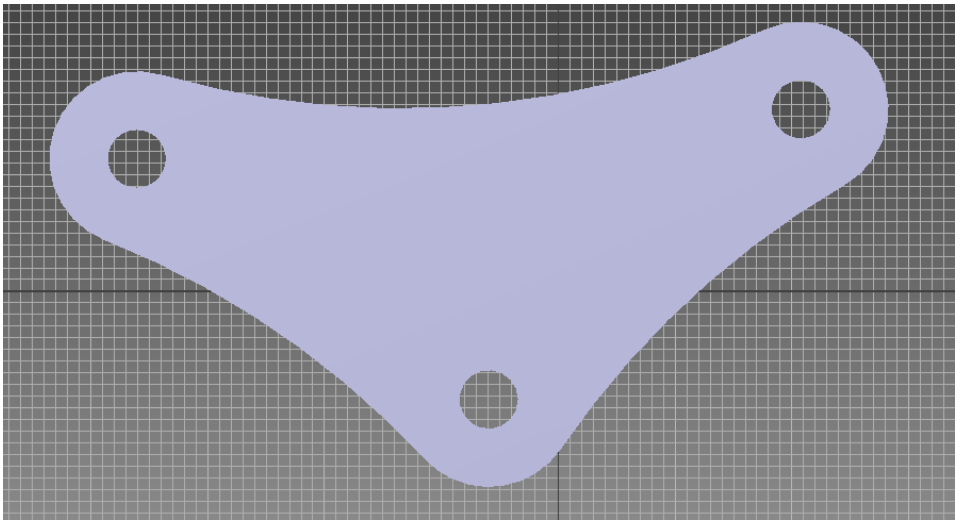


Imagen 6-6: Diseño del balancín

Posteriormente, en el anexo estudio y simulación del comportamiento de la suspensión, el sistema de suspensión es estudiado con los diferentes parámetros en la longitud de las bieletas, por lo que las dimensiones de este elemento no es definitiva

6.4. DETALLES CONSTRUCTIVOS

6.4.1. Basculante

En el diseño del basculante incluimos un rasgado en el agujero pasante del acople del eje trasero. Esto nos permitirá, mediante unos tensores, ajustar la tensión de la cadena una vez montada.

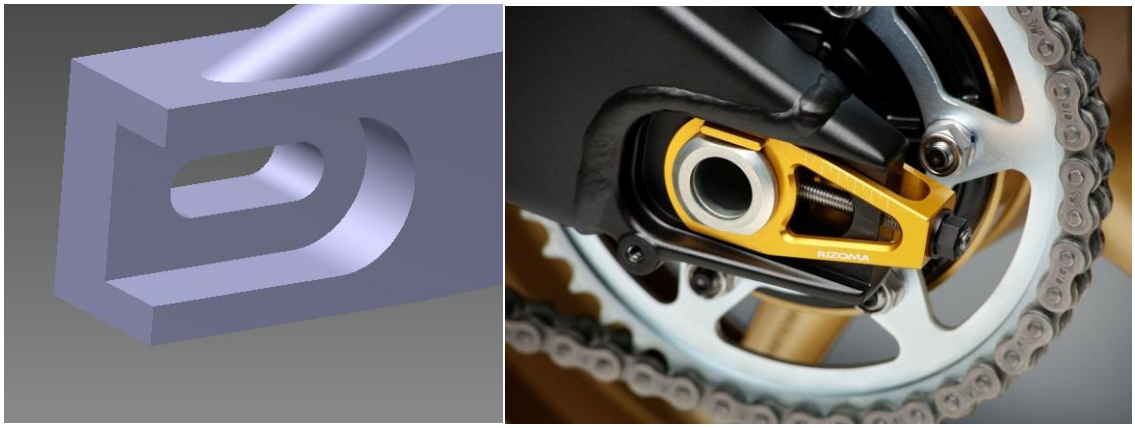


Imagen 6-7: Diseño para el tensor & tensor Yamaha R6

Diseñamos el alojamiento para los rodamiento en el acoplamiento delantero. Estas medidas estarán ajustadas para un rodamiento comercial, de forma que podamos instalarlo sin dificultad.

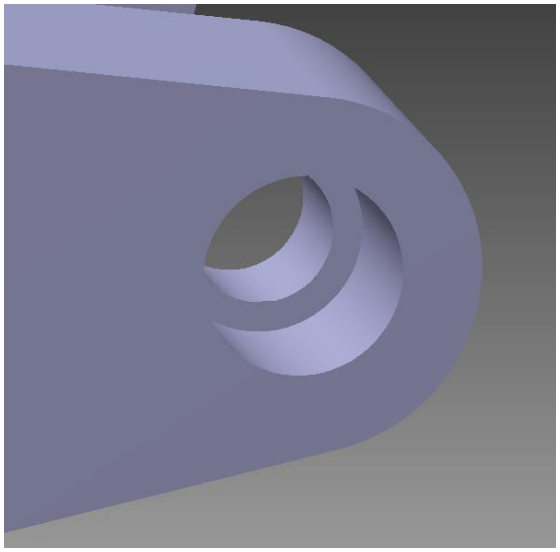


Imagen 6-8: Alojamiento para el rodamiento

6.4.2. Bieletas

Dispondremos de tres juegos de bieletas de diferentes medidas para poder ajustar la suspensión a las diferentes condiciones de la competición.

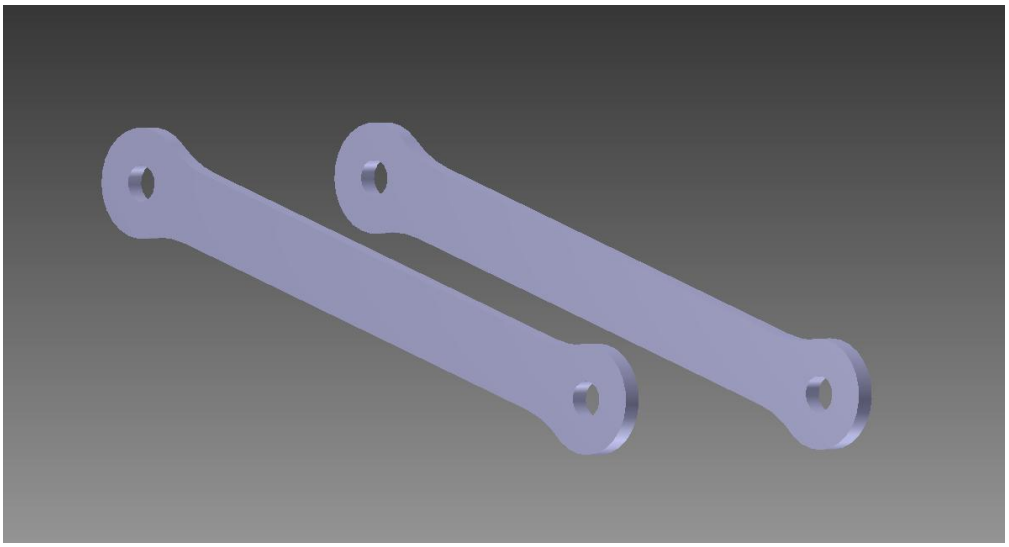


Imagen 6-9: Diseño de las bieletas

6.5. RESULTADO FINAL

A continuación se muestra el proceso de fabricación y de montaje del conjunto de la suspensión trasera y del basculante.

Una vez recibidas la piezas mecanizadas del proveedor, los acoples delantero y trasero, se procede a su soldadura a las vigas que formaran el basculante.

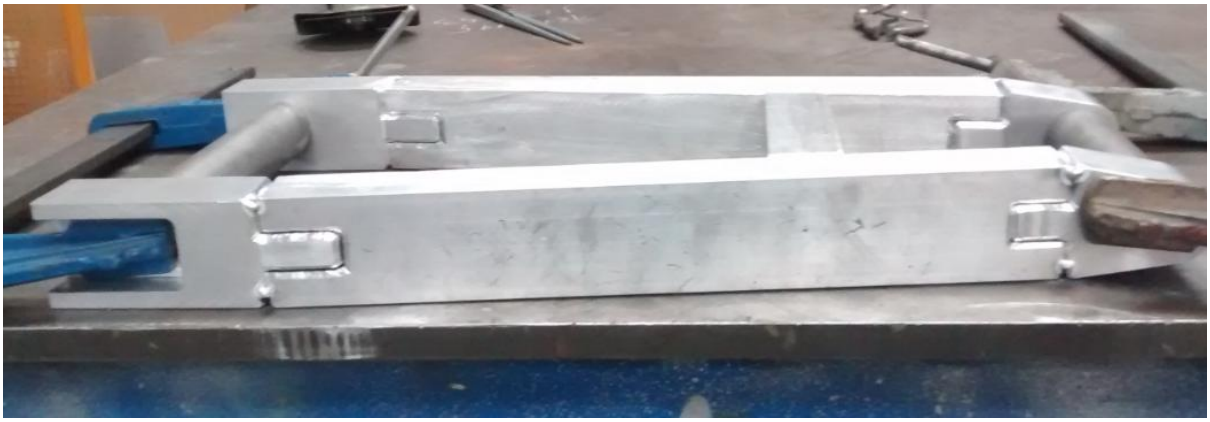


Imagen 6-10: Proceso de soldado de los acoples al basculante

Tras este paso se procede a soldar el refuerzo superior que previamente se ha doblado con las medidas exigidas en el plano, así como los acoples donde se montarán las bieletas, en la parte inferior del basculante.

Imagen 6-11: Conjunto basculante soldado

Imagen 6-12: Conjunto basculante soldado

A continuación, tras insertar los rodamientos en sus alojamientos respectivos, procedemos a instalar en conjunto del basculante al chasis mediante un eje que conecta los acoples delanteros con el chasis.

Imagen 6-13: Conjunto chasis y basculante unido

Procedemos a instalar el motor, el cableado del sistema eléctrico, el sistema de transmisión y amortiguación y el escape.

Imagen 6-14: Motocicleta con motor, kit de arrastre y rueda trasera

Imagen 6-15: Motocicleta con motor, kit de arrastre y rueda trasera

A continuación, ya que esta es el objeto del proyecto, mostramos el sistema de suspensión montado con más detalle.

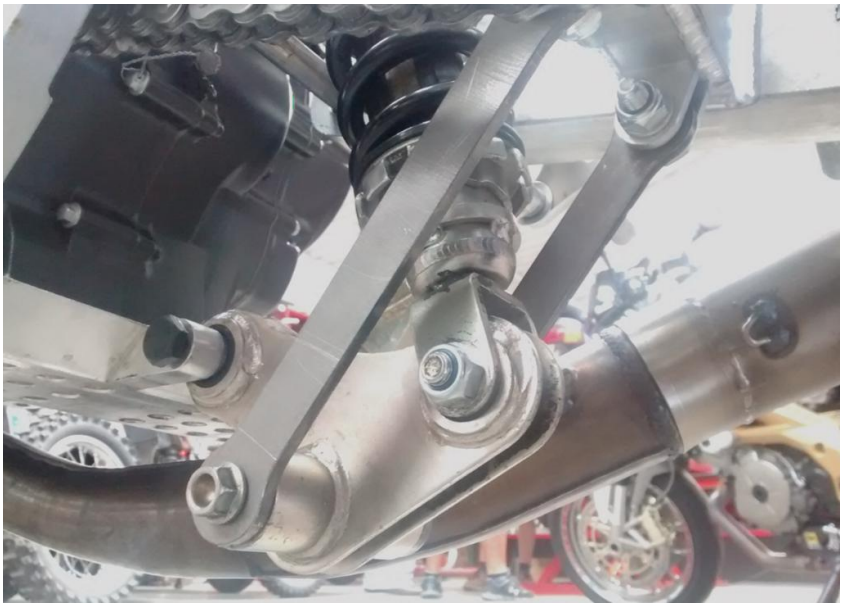


Imagen 6-16: Sistema de balancín y bieletas

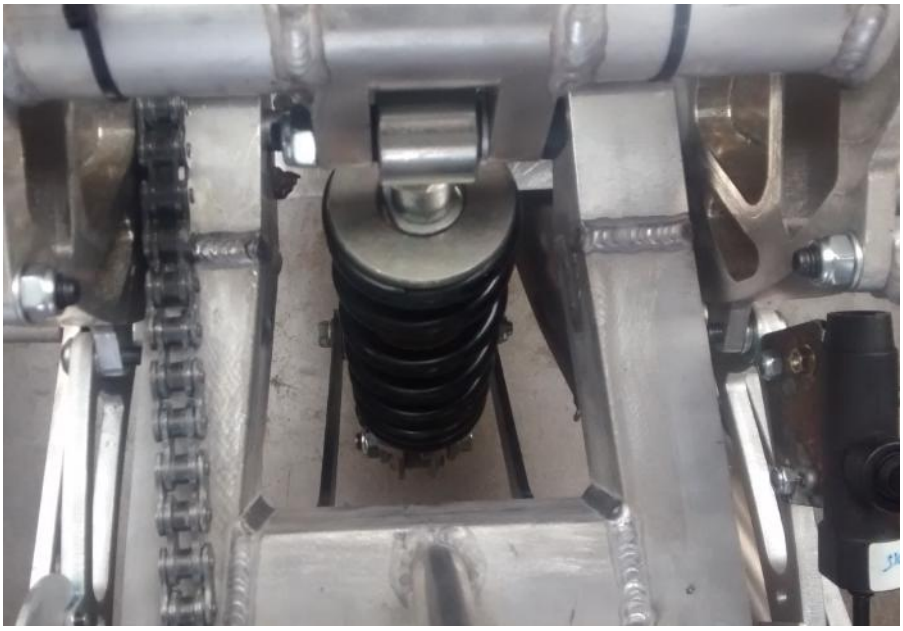


Imagen 6-17: Amortiguador y unión al chasis

ANEXOS

1. ANÁLISIS DINÁMICO DEL BASCULANTE Y SUS ELEMENTOS

1.1. INTRODUCCIÓN

Para realizar esta parte del proyecto debemos comenzar planteándonos como resolver el análisis y con qué herramientas realizar el mismo. En nuestro caso llegamos a la conclusión de que el proceso más completo será comenzar con unos cálculos sencillos "a mano" que nos den idea de valor de los esfuerzos que nuestros elementos deben soportar. Tras este paso usaremos el software "Working Model" para hallar los esfuerzos a los que está sometido el basculante de manera más precisa.

1.2. DEFINICIÓN DE ELEMENTOS Y PARÁMETROS

Los dimensiones geométricas principales las hemos acordado con el resto de componentes del equipo previamente, ya que son la base de nuestro diseño:

- Distancia entre los ejes de las ruedas (batalla): 1210mm
- Longitud del basculante: 508mm
- Ángulo del basculante con respecto a la horizontal: 10,2º
- Altura del eje del basculante: 90mm respecto del eje de la rueda

Uno de los parámetros más importantes para el cálculo dinámico será el peso de los elementos. En nuestro caso, aproximando la gravedad a 10 m/s^2:

Componente	Masa (Kg)	Peso (N)
Piloto	75	750
Chasis	20	200
Tanque gasolina	10	100
Motor	60	600
Carenado	5	50
Basculante	5	50
Resto de componentes	15	150
Total suspendida	**190 (masa moto=115)**	**1900N**

Tabla 2: Peso de los componentes

1.3. TRANSFERENCIA DE CARGA: CÁLCULO DE LOS ESFUERZOS MEDIANTE EL MOMENTO DE GIRO

La transferencia de carga en una motocicleta se produce en la aceleración y en la frenada. Como indica la lógica inercial, en la situación de frenada la carga se moverá a la parte delantera originando una pérdida de carga en la rueda trasera; por el contrario en la aceleración la carga se transfiere a la rueda trasera, dejando sin apenas carga a la delantera. Estas situaciones son las de mayor compromiso de los elementos de la motocicleta y deben ser estudiadas a fondo. La distribución de estas fuerzas viene dada por la geometría de la suspensión, pudiendo ser contrarrestada mediante elementos de suspensión.

El origen de la transferencia de carga son estas cuatro fuerzas.

- El momento originado por la aceleración del cigüeñal

- La altura del centro de gravedad de la motocicleta
- Las fuerzas aerodinámicas
- La inercia

1.3.1. Fuerzas normales en cada llanta en reposo

Para realizar el primer cálculo de las reacciones en cada rueda de la motocicleta debido al peso de los elementos definimos los esfuerzos como:

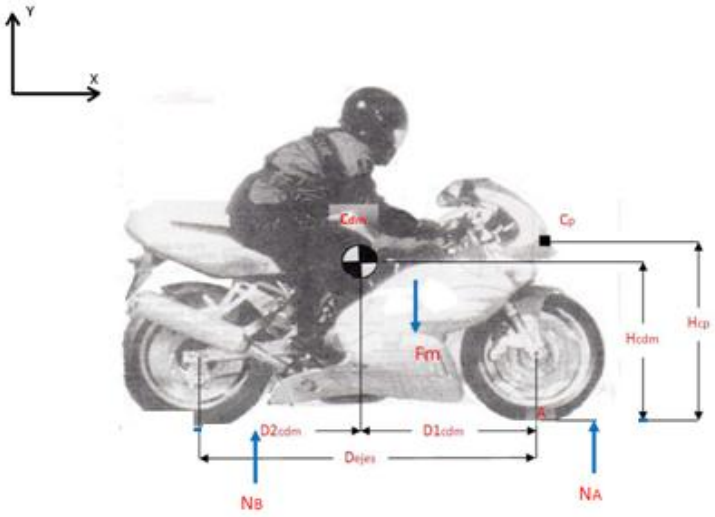


Imagen 1-1: Fuerzas y reacciones en la motocicleta

Donde sabemos la fuerza Fm debido al peso que es de 1900 Newtons. Por tanto realizamos el sumatorio de fuerzas en el eje Y y un sumatorio de momentos en el punto B, eje de la rueda trasera:

$$\sum Mb = 0 \quad donde: \; Na = \frac{Fm * D2cdm}{D\ ejes} = \frac{1900 * 0.605}{1.210} = 950\ N$$

$$\sum Fy = 0 \quad donde: \; Nb = Fm - Na\ , \qquad Nb = 950\ N$$

1.3.2 Transferencia de carga debido a la máxima frenada delantera

Para realizar el siguiente cálculo supondremos que nuestro caso se produce en el momento en el que la rueda trasera se separa del suelo. En este instante todo el peso se transmite a la rueda delantera. Por lo tanto:

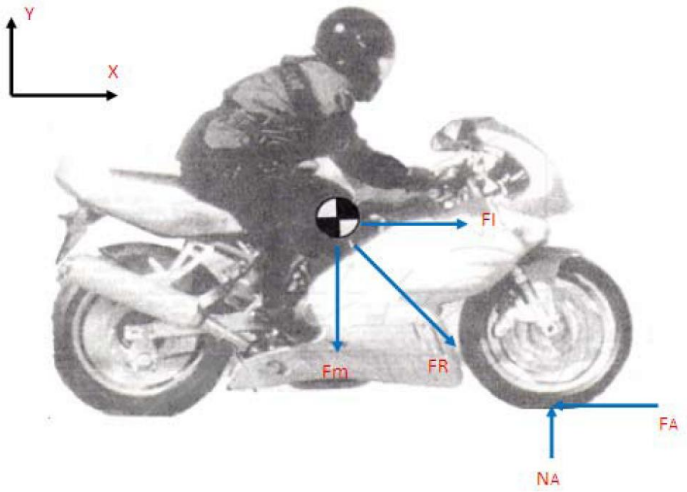


Imagen 1-2: Fuerzas y reacciones en situación de frenada máxima

Donde sabemos la fuerza Fm debido al peso que es de 1900 Newtons. Por tanto realizamos el sumatorio de fuerzas en el eje Y y un sumatorio de momentos en el punto A, eje de la rueda delantera:

$$\sum Fy = 0 \ , donde: \ \ Na = Fm \ = 1900 \, N$$

$$\sum Ma = 0 \, , \ \ donde \ \ \ Nb = 0$$

$$\mathrm{Fm} \ * \ \mathrm{D1cdg} \ = \ \mathrm{Fi} \ * \ \mathrm{Hcdg}$$

$$\mathrm{Fi} = \frac{1900 * 0.605}{0.7} = \ \ 1642.14 \ \mathrm{N}$$

1.3.3. Transferencia de carga por aceleración máxima

En este caso toda la carga se transfiere a la parte trasera, por lo que en el caso límite la rueda delantera deja de hacer contacto con el suelo. Toda la carga se transfiere a la parte trasera.

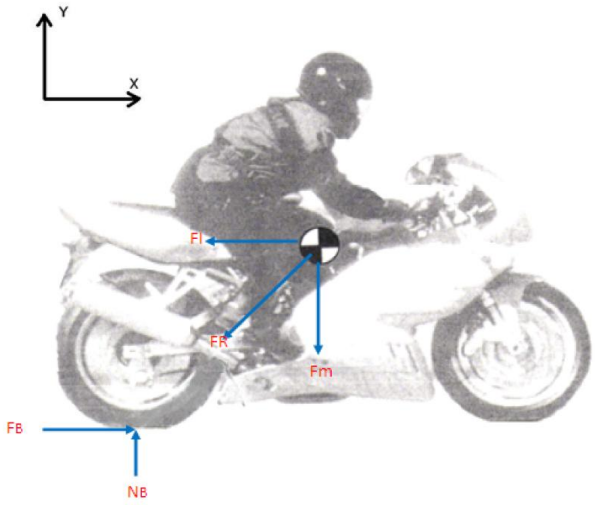


Imagen 1-3: Fuerzas y reacciones en situación de aceleración máxima

$$\sum Fy = 0\,, donde: \quad Nb = Fm = 1900N$$

$$\sum Mb = 0\,, \quad donde: \; Fi = \frac{Fm * D2cdm}{H\ cdm} = \frac{1900 * 0.605}{0.7} = 1642.14\ N$$

1.4. CÁLCULO DE LOS ESFUERZOS MEDIANTE WORKING MODEL

1.4.1. Propiedades del software Working Model

Working Model es un programa de simulación diseñado por Design Simulation Technologies, que nos permite usar componentes mecánicos virtuales, como muelles, amortiguadores o motores, en 2 dimensiones. Una vez dibujado nuestro sistema con sus respectivas fuerzas, el programa simula la interacción de cada elemento de nuestro modelo analizando los movimientos y las fuerzas propias que se desarrollan.

Un aspecto importante en WM es la definición de la unión entre cuerpos. Ésta puede ser de tres tipos:

- Unión rígida: los elementos se mueven solidariamente, no permite el giro.

- Unión rótula: los elementos quedan unidos pero el giro mutuo está permitido.
- Unión Slot o corredera: el elemento se mueve sobre un "carril" en el que también está permitido en el giro.

Working Model tiene un precio de 2.500 US$; en nuestro caso utilizaremos la versión demo, suficiente para el uso que vamos a dar al programa.

1.4.2. Definición del modelo y obtención de fuerzas del basculante en Working Model

Comenzamos dibujando el sistema de la motocicleta. Llevamos a cabo una simplificación para que los cálculos sean más sencillos pero que no repercutan en la precisión de los mismos. Situamos los diferentes pares de unión en nuestro modelo. Por tanto, llegamos al siguiente sistema:

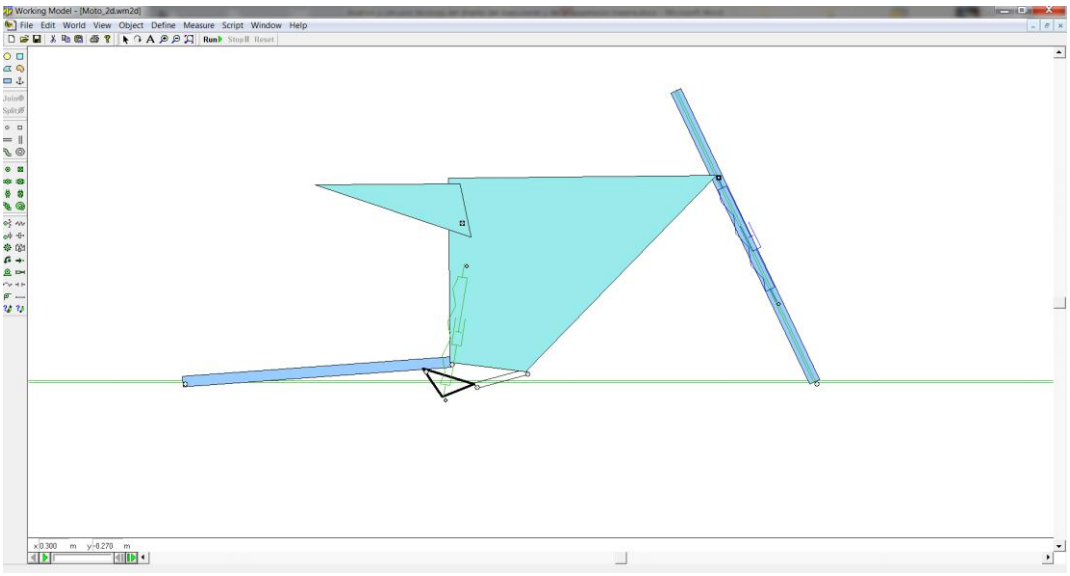


Imagen 1-4: Modelo motocicleta en WM Ref.[12]

Para la suspensión delantera definimos un barra fina y larga que representa la suspensión delantera. En la parte de la unión al eje de la rueda delantera definimos una unión rótula. Definimos una unión corredera en la que situamos el muelle amortiguador, en la que la parte superior va unida al chasis. A la vez esta unión es la fija la suspensión al chasis.

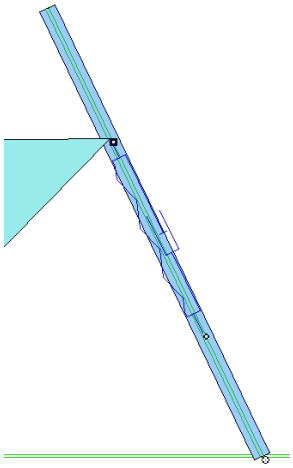


Imagen 1-5: Modelo de la suspensión delantera Ref.[12]

Definimos la constante de muelle de 50 N/m y del amortiguador de 20 Nm.

Para la parte trasera del basculante, el eje de la rueda trasera, definimos una unión slot o corredera. Esta unión tiene la función de alargar o acortar la moto según los esfuerzos a los que está sometida

Imagen 1-6: Modelo de la suspensión trasera Ref.[12]

Para la parte que realiza la suspensión de la motocicleta utilizaremos pares revolución en cada una de las uniones. Tanto en la uniones del basculante con el balancín y con el chasis, así como en las uniones de las bieletas y del amortiguador, todos los pares pueden rotar. Definimos la constante del muelle de 115 N/m y del amortiguador de 50 Nm. En nuestro caso podemos definir la precarga del muelle dando una longitud menor al muelle de la del dibujo. Esta precarga es aproximada.

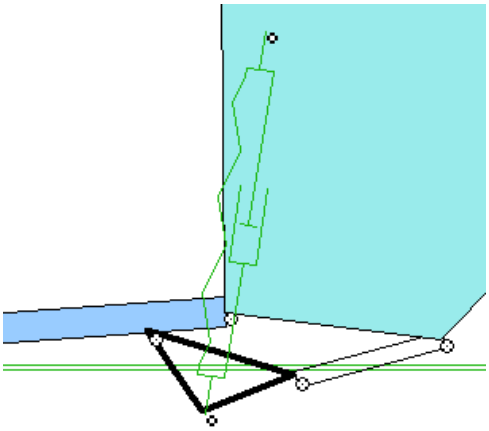


Imagen 1-7: Modelo de la suspensión trasera Ref.[12]

A continuación introducimos las fuerzas que deberá soportar la motocicleta en el ensayo estático. Este ensayo consiste en aplicar una fuerza de 300 kg (3000 N) en la rueda trasera y una fuerza de 250 kg (2500 N) en el sillín de la motocicleta.

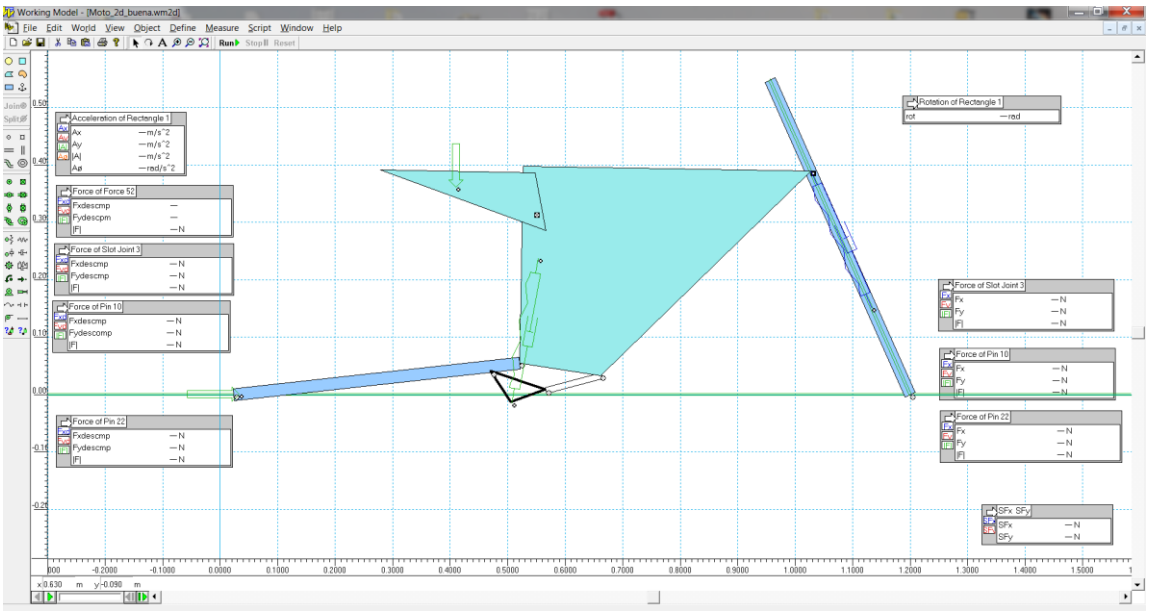


Imagen 1-8: Fuerzas sobre el modelo Ref.[12]

Por último definimos los vectores de cada punto del basculante para saber la dirección de las fuerzas que se desarrollan en cada unión del mismo.

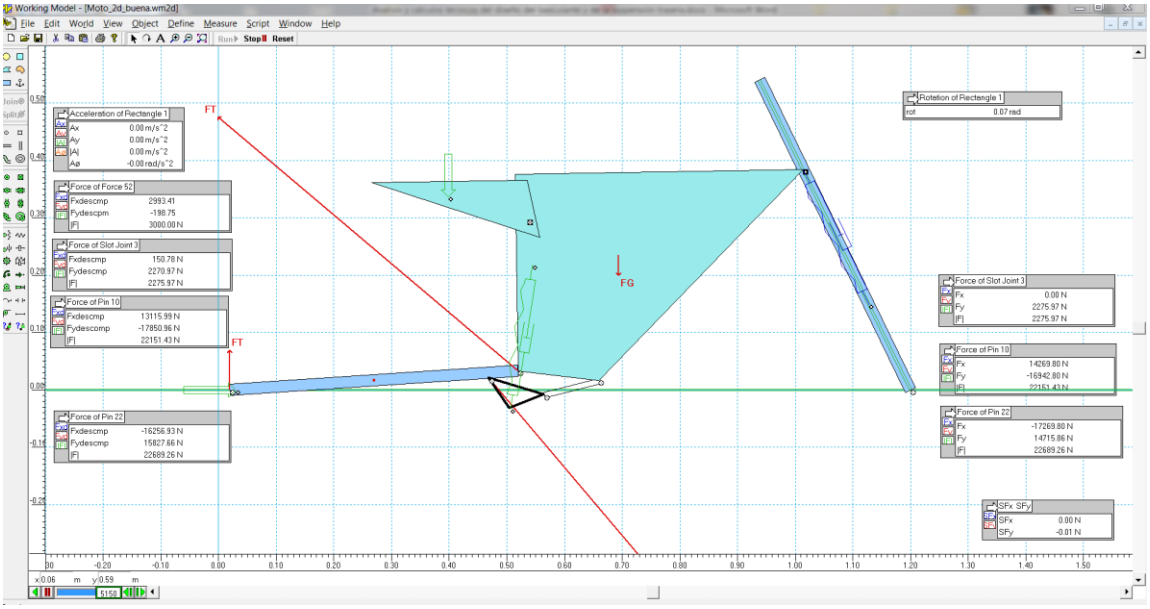


Imagen 1-9:Vectores de las fuerzas sobre el modelo Ref.[12]

Una vez hemos empezado la simulación ésta tardara un poco en estabilizarse debido a la componente no lineal del sistema muelle amortiguador. Pasados unos segundos llegamos al siguiente resultado. Como podemos observar las fuerzas tanto en la componente X, donde hay que añadir 3000N debido a la fuera externa aplicada, como en la componente Y se contrarrestan.

La fuerza Slot Joint 3 es la unión con la rueda trasera, el pin 10 la unión con el balancín y el pin 22 con el chasis.

Las fuerzas que hemos obtenido anteriormente están en coordenadas local del propio cuerpo del basculante. Por tanto, estas componentes no nos valen al estar referidas a un sistema de referencia local. Procedemos a descomponerlas en el sistema de referencia absoluto, sumando o restando las componentes. Por último redondeamos estos valores.

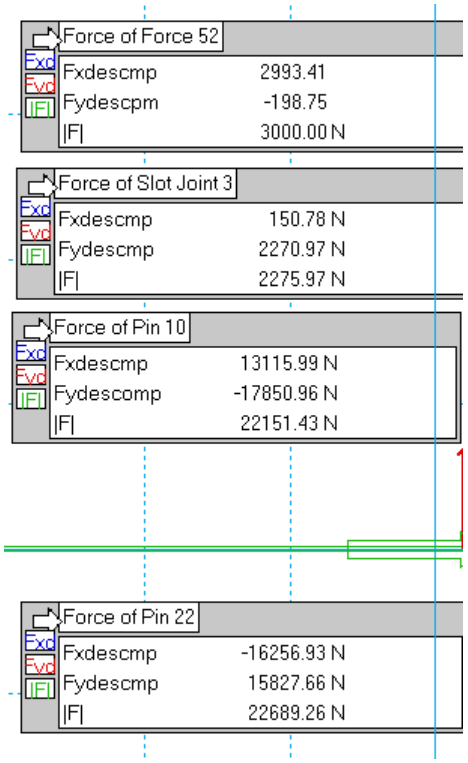


Imagen 1-10: Fuerzas sobre el modelo Ref.[12]

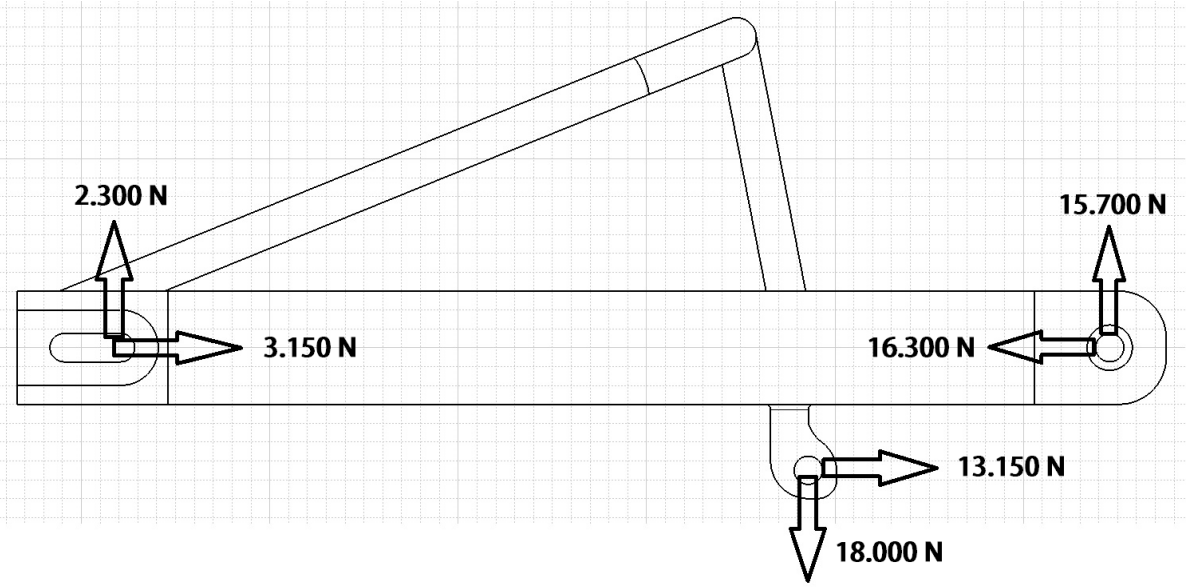


Imagen 1-11: Fuerzas sobre el basculante

1.4.3. Definición del modelo y obtención de fuerzas del balancín en Working Model

Basándonos en el modelo anterior, nos centramos en el triangulo o elemento ternario que representa el balancín de nuestra futura motocicleta. Para su estudio visualizaremos solo

los vectores de los tres puntos de unión del balancín y hallamos las fuerzas que afectan a cada uno de ellos.

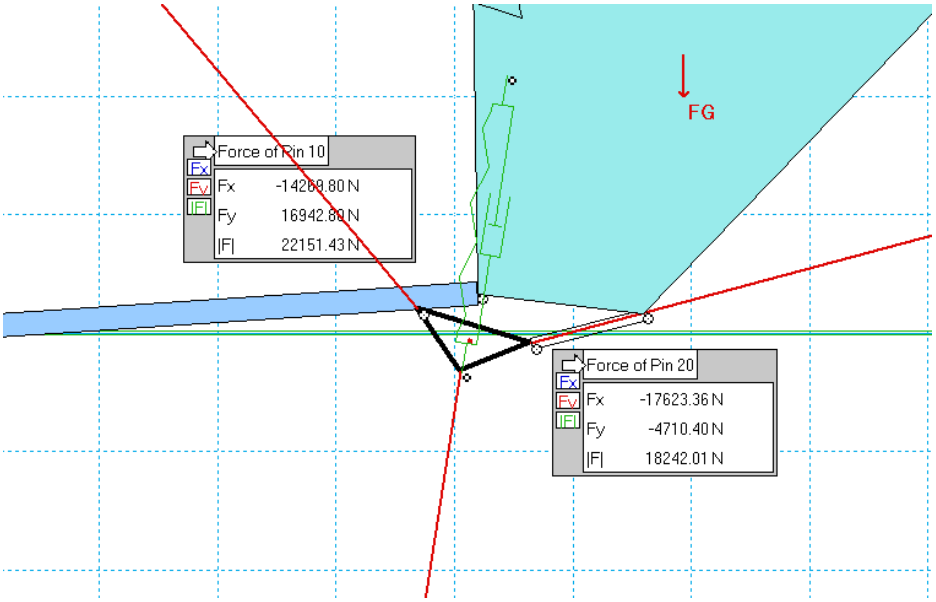


Imagen 1-12: Vectores de las fuerzas sobre el balancín Ref.[12]

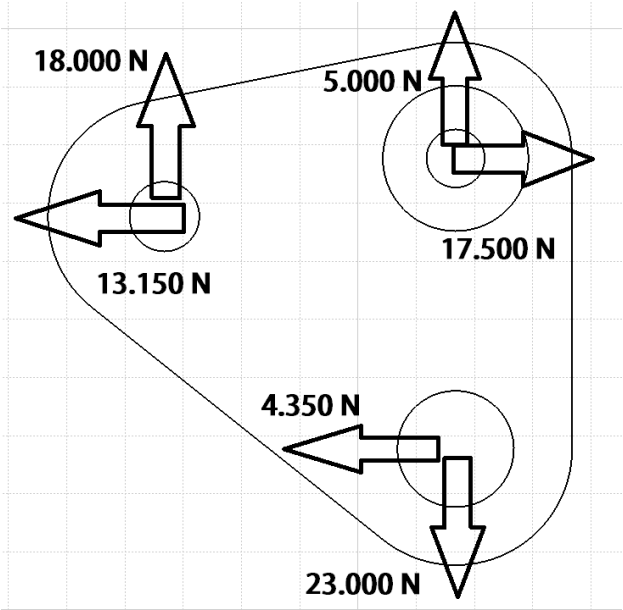


Imagen 1-13: Fuerzas sobre el balancín

1.4.4. Definición del modelo y obtención de fuerzas de las bielas en Working Model

Siguiendo el mismo proceso anterior, a continuación estudiamos el elemento binario, las bielas de la motocicleta. Al tener solo dos fuerzas, éstas tendrán el mismo valor y direcciones opuestas.

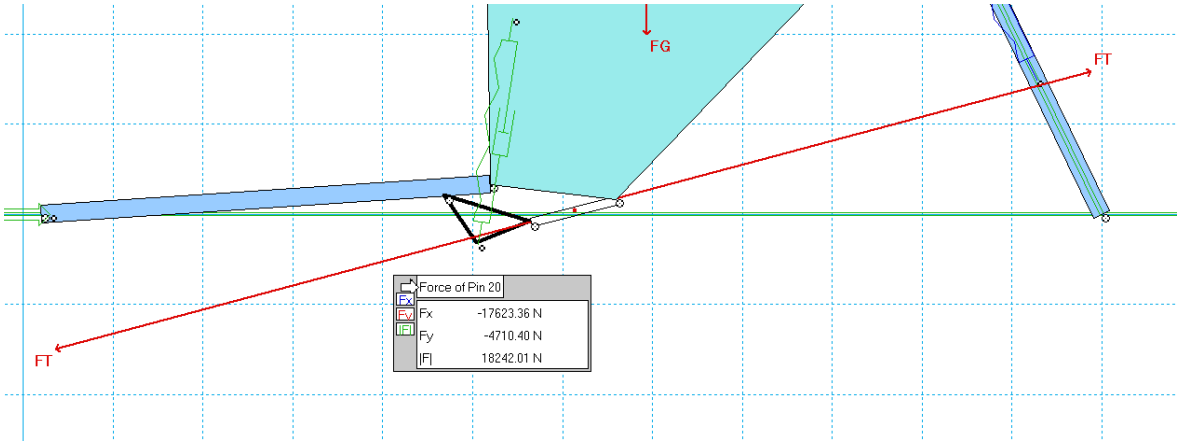


Imagen 1-14: Vectores de las fuerzas sobre las bielas Ref.[12]

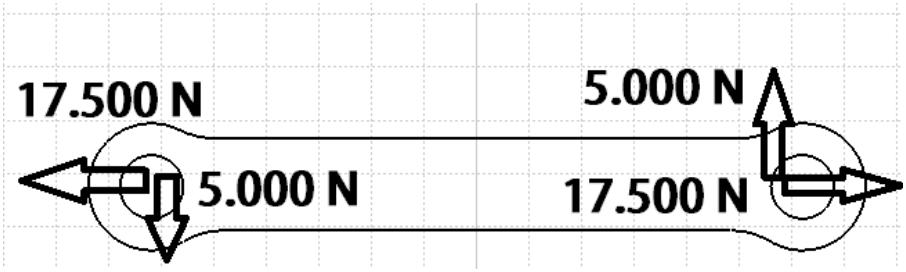


Imagen 1-15 Fuerzas sobre el balancín

1.4.5. Conclusión de la obtención de fuerzas en Working Model

Mediante el estudio de los diferentes elementos de nuestra motocicleta, simplificando los mismo y uniéndolos con los diferentes pares que constituyen el mismo, podemos obtener las fuerzas que se producen.

1.5. CÁLCULO DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN

1.5.1. Cálculo de las soldaduras

Para realizar el cálculo de las soldaduras seguiremos los criterios del cálculo de estructuras mediante la SEA. Mediante este método compararemos los esfuerzos de la unión con los esfuerzos resistentes del material, diseñando el cordón de soldadura para que no supere el límite resistente.

Comenzamos suponiendo que todas las soldadura son triangulares y tienen las costuras en ángulo con acabado cóncavo, con el fin de mejorar el flujo de tensiones.

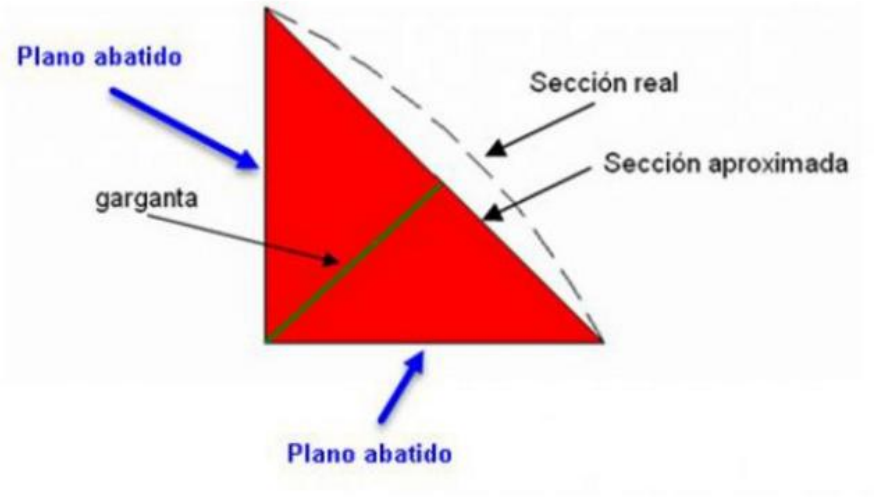


Imagen 1-16: Tensiones sobre el plano de soldadura Ref.[16]

A continuación estudiaremos las soldaduras de la unión con los acoples delanteros y traseros, ya que en esa zona se producirán las concentraciones de tensiones.

Para el acople trasero, situamos las fuerzas que hemos obtenido previamente en el apartado 1.4.2. Definición del modelo y obtención de fuerzas del basculante en Working Model. A continuación trasladamos la carga vertical al plano de soldadura, obtenido un cortante y un momento flector sobre el plano al multiplicar la fuerza por la distancia. La sección de soldadura será de 4x60 mm2. Por tanto tenemos los siguiente esfuerzos en el cordón de soldadura:

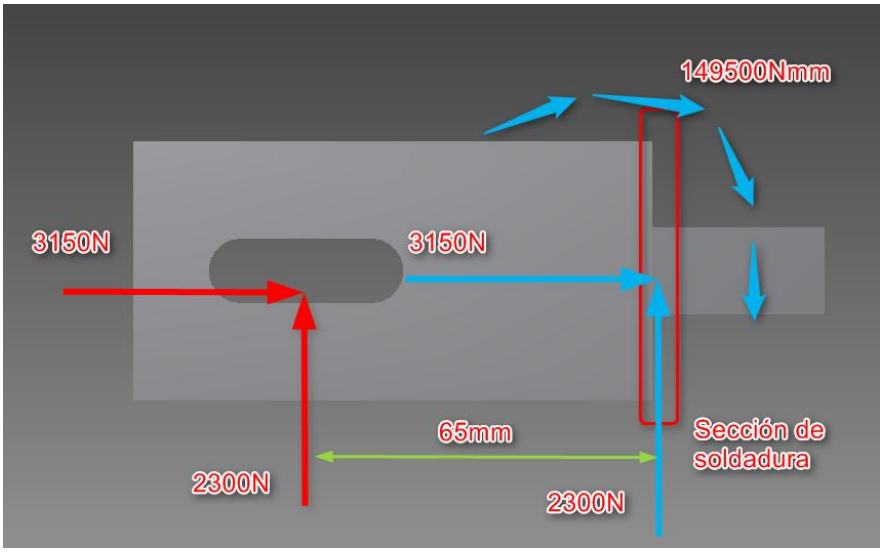


Imagen 1-17: Fuerzas y momento producido en el acople trasero

$$Vx = 3150\ N$$
$$Vy = 2300\ N$$
$$Mt = 149500\ Nmm$$

Posteriormente proyectamos esos esfuerzos en el plano de soldadura y hallamos las tensiones producidas por dichos esfuerzos, resultando:

$$\sigma_{\perp} = \frac{F}{\Sigma\,(\mathrm{a}\,.\,\mathrm{l})} = 6{,}56\ N/mm2$$

$$\tau_{//} = \frac{F}{\Sigma\,(\mathrm{a}\,.\,\mathrm{l})} = 4{,}79\ N/mm2$$

$$\tau_{\perp} = \frac{Mt}{\mathrm{Wt}} = \frac{Mt}{\frac{\mathrm{a}\,.\pi\,.(\mathrm{d}+\mathrm{a})^2}{4}} = 23{,}24\ N/mm2$$

Para hallar la tensión de comparación usaremos la expresión:

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\,(\,\tau_{\perp}^2 + \tau_{//}^2\,)}$$

Sustituyendo los valores obtenidos anteriormente hallamos una tensión de comparación de 41,61 $N/mm2$, siendo este valor inferior al que puede soportar el aluminio 6082 T6, que posee un límite elástico de 310 $N/mm2$. Por tanto, podemos considerar la soldadura como correcta, al ser la tensión de comparación menor que el límite elástico del material.

Para el acople delantero realizamos el mismo sistema, proyectando las fuerzas sobre la sección de soldadura. La sección de soldadura será la misma, de 4x60 mm2:

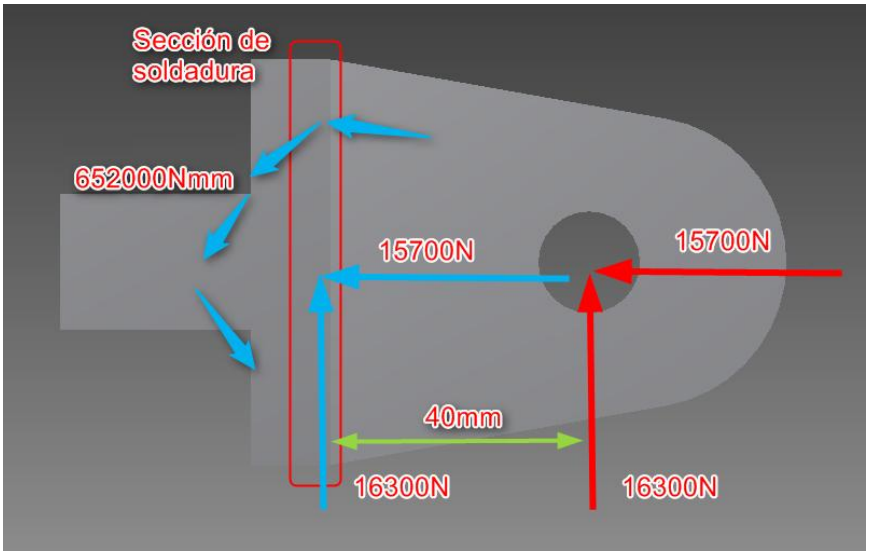


Imagen 1-18: Fuerzas y momento producido en el acople delantero

Las fuerzas obtenidas son en este caso:

$$Vx = 15700\ N$$
$$Vy = 16300\ N$$
$$Mt = 652000\ Nmm$$

Hallamos las tensiones producidas por dichos esfuerzos, resultando:

$$\sigma_{\perp} = \frac{F}{\Sigma\,(\mathrm{a}\,.\,\mathrm{l})} = 32{,}71\ N/mm2$$

$$\sigma_{//} = \frac{F}{\Sigma\,(\mathrm{a}\,.\,\mathrm{l})} = 33{,}96\ N/mm2$$

$$\tau_{//} = \frac{Mt}{Wt} = \frac{Mt}{\frac{a \cdot \pi \cdot (d+a)^2}{4}} = 101{,}34\ N/mm2$$

Hallamos la tensión de comparación mediante:

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\,(\,\tau_{\perp}^2 + \tau_{//}^2\,)}$$

Obtenemos una tensión de comparación de 188 $N/mm2$. Este valor, al igual que en el caso anterior, es inferior al límite elástico del aluminio 6082 T6 elegido para nuestro diseño, por lo que la soldadura aguantará los esfuerzos producidos en ella.

1.5.2. Cálculo de los rodamientos

Nuestro sistema de suspensión se compone de varios elementos unidos mediante ejes, que se moverán angularmente unos con respecto a otros, pero siempre manteniéndose unidos por estos ejes. Estos deben girar apoyados sobre un elemento que permita su giro relativo y que los mantenga concéntricos a los alojamientos, los rodamientos. A efectos prácticos no tendremos en cuenta las revoluciones que nos permite el rodamiento ya que nuestros elementos no llegarán a girar completamente.

Para el cálculo de los rodamientos nos centraremos en el estudio de su carga dinámica equivalente, su factor de esfuerzo estático. A continuación seleccionaremos un rodamiento de agujas del catálogo de SKF que se adapte a nuestro tamaño de agujero y calcularemos su resistencia.

15	24	23	11	14	10.6	18.3	1.66	0.67	8500	7000	**NKX 15 Z**
15	24	23	11	14	11.2	27	1.66	2.45	4300	8500	**NKXR 15**
15	24	23	11	14	11.2	27	1.66	2.45	4300	8500	**NKXR 15 Z**
15	24	28	11	14	6.18	12.2	1.66	0.45	7500	5300	**NX 15 Z**
15	24	23	11	14	10.6	18.3	1.66	0.67	8500	12000	**NKX 15**

Imagen 1-19: Características de rodamientos de agujas Ref.[10]

El rodamiento seleccionado es el NKXR 15 de la marca SKF y cuenta con las siguientes características

Capacidad de carga dinámica básica, sentido radial	C	11
Capacidad de carga estática básica, sentido radial	C_0	14
Capacidad de carga dinámica básica, sentido axial	C	10.6
Capacidad de carga estática básica, sentido axial	C_0	18.3
Carga límite de fatiga, sentido radial	P_u	1.66
Carga límite de fatiga, sentido axial	P_u	0.67

Imagen 1-20: Propiedades del rodamiento elegido Ref.[10]

La unión soportará una fuerza radial que será igual a la resultante de las componentes calculadas en los apartados anteriores:

$$Vx = 15700\ N$$

$$Vy = 16300\ N$$

$$Fr = \sqrt{Vx^2 + Vy^2} = 22{,}6314\ \text{kN}$$

La capacidad de carga dinámica de un rodamiento se define como la cantidad de horas de servicio que resiste sin que aparezcan síntomas de fatiga en los anillos, discos o cuerpo de soldadura del rodamiento y viene dada por:

$$\text{L} = 10^6 \left(\frac{f_H \,.\, C}{F}\right)^{\text{x}}$$

siendo L la duración nominal, f_H el factor de dureza, C el factor de carga dinámica, F la fuerza de carga dinámica equivalente en kN y x una constante dependiente del tipo de rodamiento. Por tanto, sustituyendo los valores:

$$\text{L} = 10^6 \left(\frac{1\,.11}{22{,}6314}\right)^3 = 114827\ \text{horas}$$

Este valor está muy por encima de los valores medios de vida de los rodamientos por lo que consideraremos el rodamiento correcto para el montaje en nuestro prototipo.

A continuación calcularemos el factor de esfuerzo estático, definido como aquella fuerza estática que produce una deformación permanente en los cuerpos de rodadura y viene dado por la ecuación:

$$f_s = \frac{\text{C}_0}{F_0} = \frac{14}{22{,}63} = 0{,}62$$

Según el fabricante, se aconseja tener un factor de esfuerzo estático entre 0,6 y 1,2 para exigencias normales, por lo que nos encontramos en el rango recomendado.

2. ANÁLISIS DE TENSIONES Y DEFORMACIONES MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS

2.1. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL BASCULANTE

2.1.1. Mallado del basculante

Tras importar la geometría de nuestro diseño procedemos al mallado de la misma. El mallado del cuerpo es de vital importancia en el método de elementos finitos ya que en este proceso se definen la posición de los nodos, elementos que después se analizarán. En nuestro modelo tendremos tres mallas diferentes:

- Malla Solid, para los elementos macizos como los acople delantero y trasero y las orejetas. En este tipo de malla utilizaremos el mallado en forma tetraédrica de manera que los nodos ocupen todo el volumen del sólido.
- Malla Shell para los perfiles rectangulares de 3mm de grosor. La malla Shell nos permite elegir dos tipos de mallado: IsoMesh y Paver. Elegiremos el tipo de malla Paver ya que los nodos se reparten de manera no uniforme por lo que será más fácil asociar los nodos al elemento sólido anteriormente creado.
- Malla Shell para el perfil circular del elemento rigidizador superior de 2,5 mm de grosor.

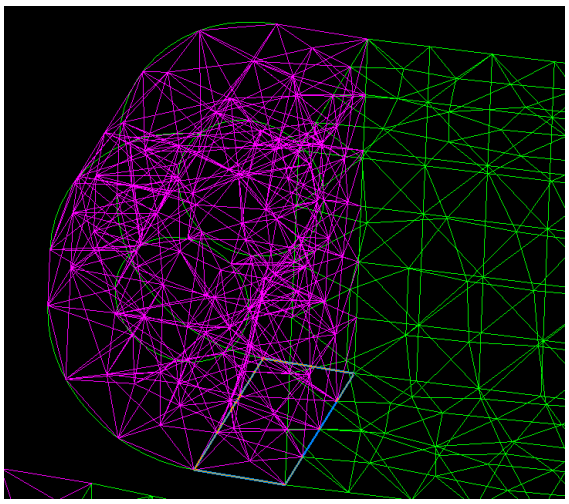


Imagen 2-1: Configuraciones de mallado Ref.[12]

Continuamos definiendo las condiciones de fijación y de fuerzas en los elementos deseados, como son los acoples delantero y trasero y las orejetas. Para ello definimos un punto virtual (MultiPointConstranit) que se asocia con todos los nodos de las caras de los alojamientos. De esta manera la carga queda repartida por toda la superficie.

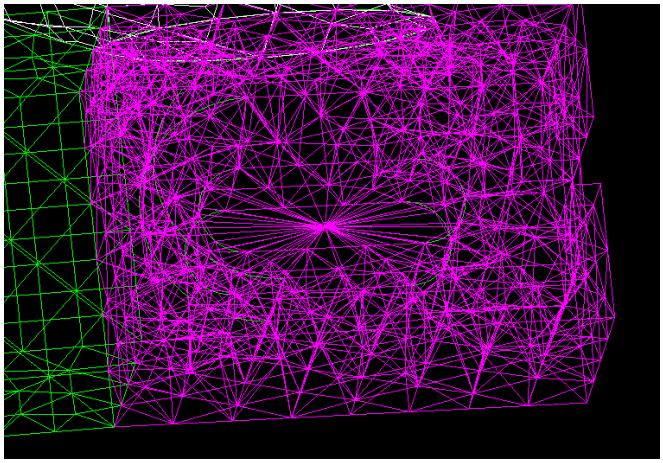


Imagen 2-2: Nodo virtual (MPC) Ref.[12]

A continuación podemos situar las fuerzas en los nodos creados.

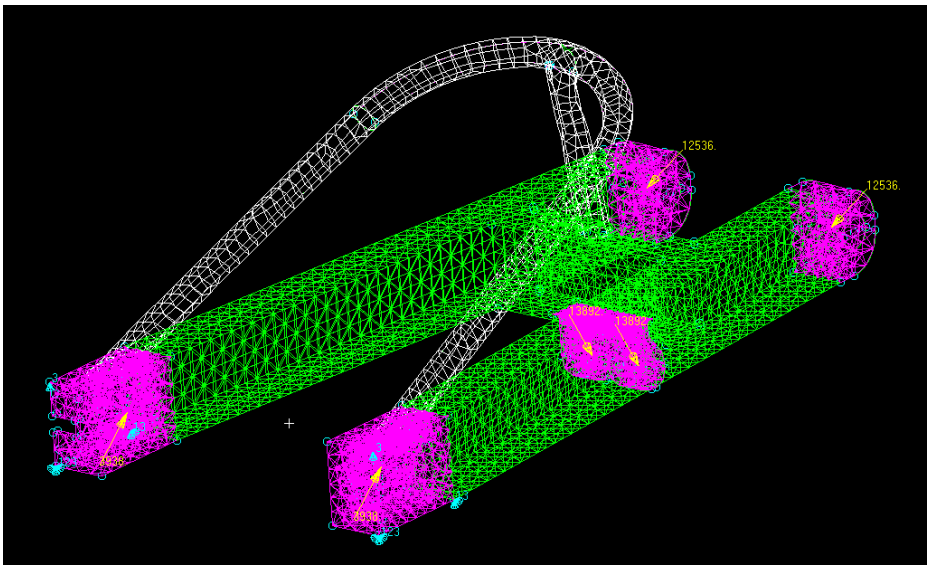


Imagen 2-3: Mallado completo del basculante con cargas Ref.[12]

2.1.2. Simulación

Tras definir las propiedades del material de los cuerpos podemos proceder a la simulación de elementos finitos.

- Análisis de tensiones y deformaciones

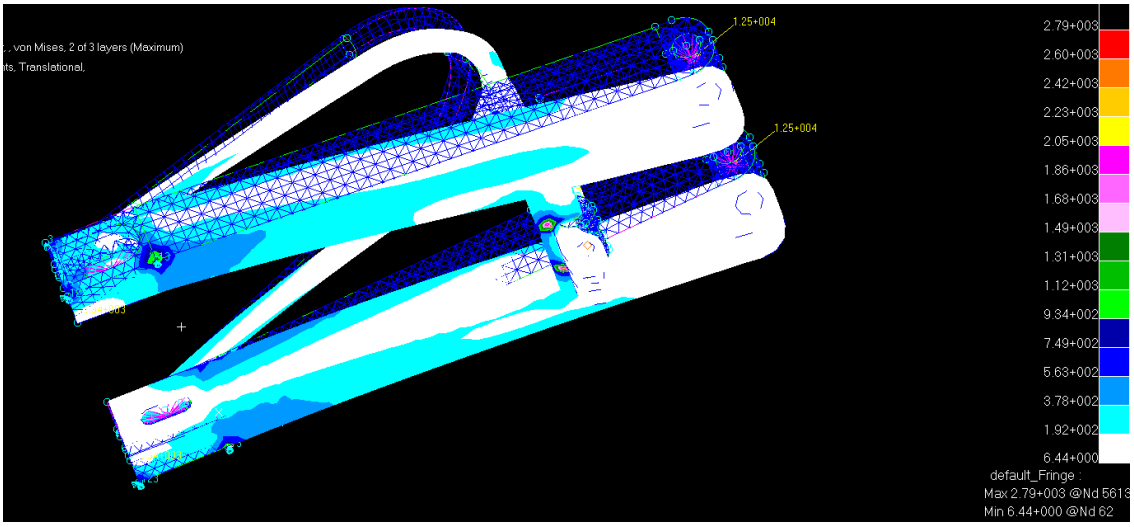


Imagen 2-4: Tensiones sobre el basculante Ref.[12]

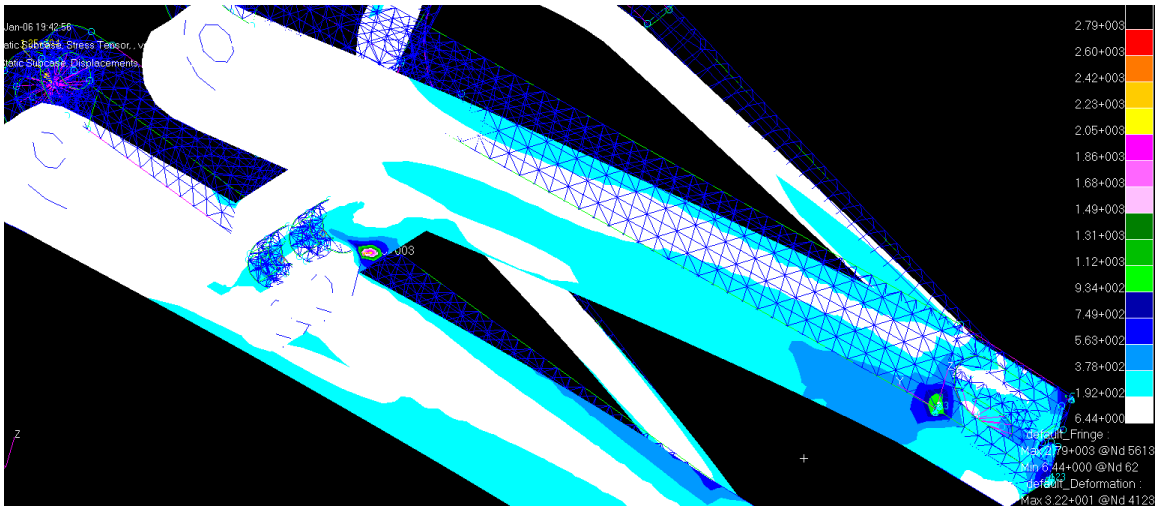


Imagen 2-5: Tensiones sobre el basculante Ref.[12]

- Análisis de desplazamientos

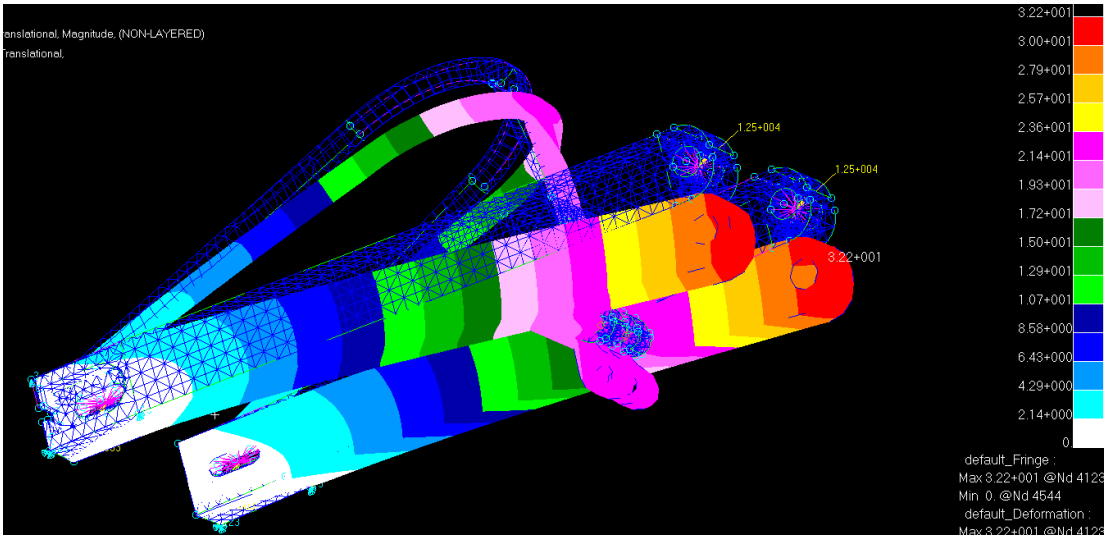


Imagen 2-6: Desplazamientos del basculante Ref.[12]

2.1.3. Conclusión

Tras analizar los resultados podemos afirmar que no se supera la tensión elástica del aluminio 6082 con tratamiento T6, el material elegido para nuestro diseño. El límite elástico es 310 MPa y en nuestro elemento la tensión máxima alcanzada es de 279 MPa, por lo que es inferior al límite y nos encontramos en el rango elástico del material.

2.2. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL BALANCÍN

2.2.1. Mallado del balancín y simulación

A continuación procedemos a realizar el análisis de elementos finitos del balancín. Este elemento, al ser un sólido macizo, se mallará con una malla "Solid" de manera que los nodos ocupan todo su volumen. Posteriormente procedemos a situar las cargas obtenidas previamente en el anexo anterior, situamos las condiciones de contorno y realizamos la simulación.

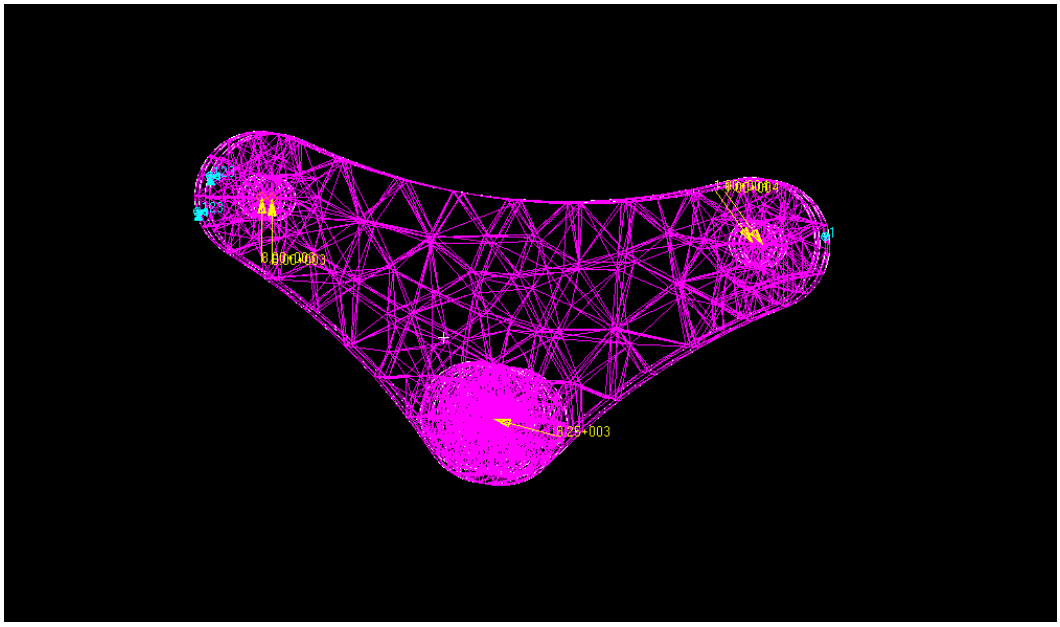


Imagen 2-7: Mallado del balancín Ref.[12]

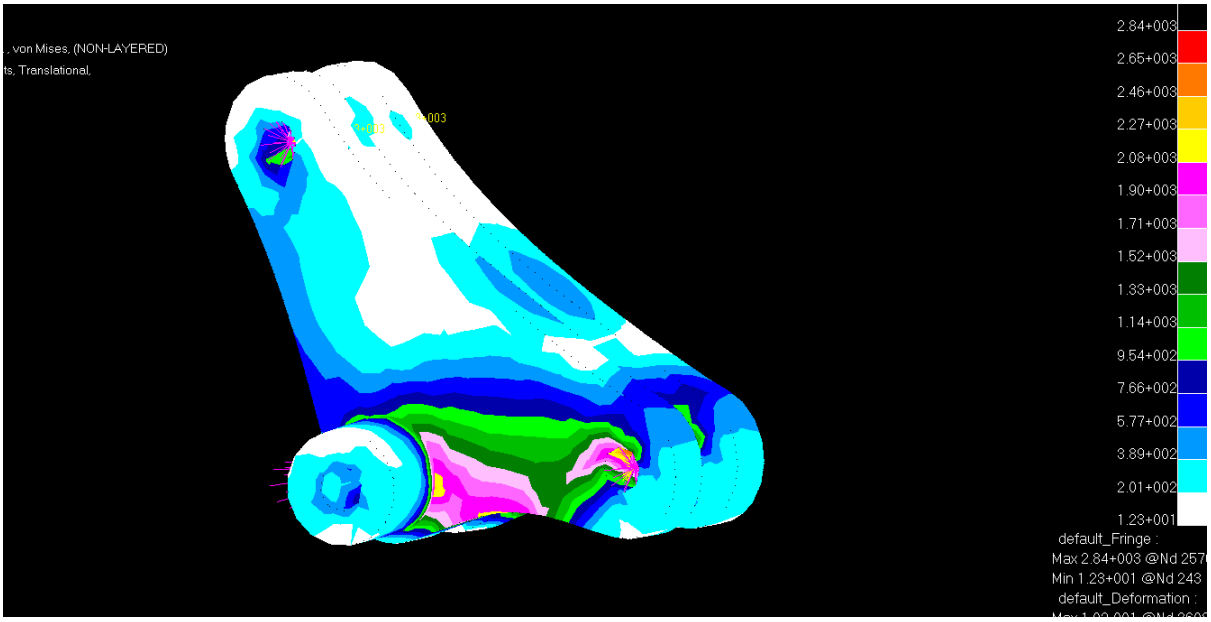


Imagen 2-8: Análisis de tensiones y deformaciones en la bieleta Ref.[12]

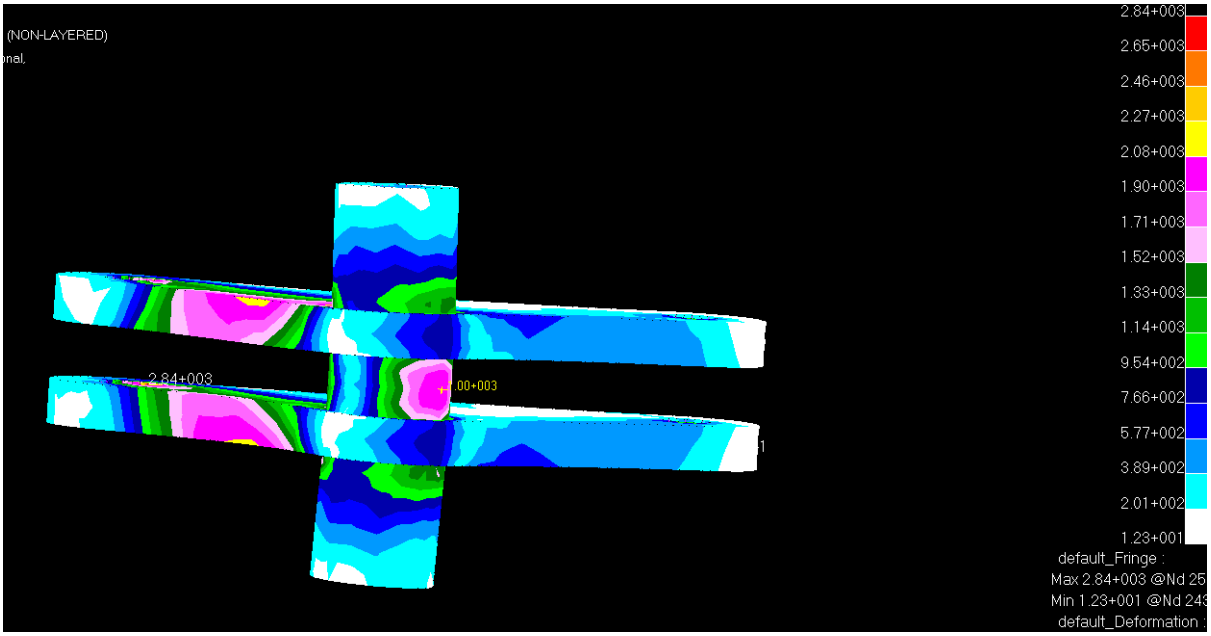


Imagen 2-9: Análisis de tensiones y deformaciones en la bieleta Ref.[12]

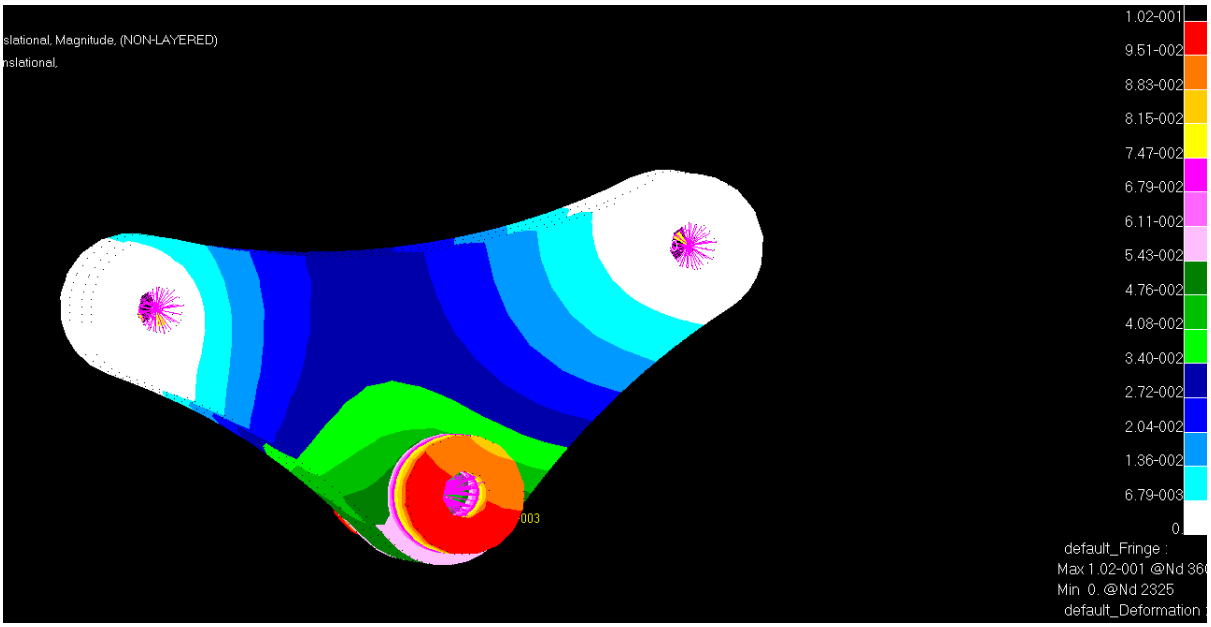


Imagen 2-10: Análisis de tensiones y deformaciones en la bieleta Ref.[12]

2.2.2. Conclusión

Al igual que en el caso anterior, comprobamos que la tensión máxima queda por debajo de la tensión elástica del material, por lo que nuestro elemento no se deformará plásticamente.

2.3. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LAS BIELETAS

2.3.1. Mallado de las bieletas y simulación

Realizamos el mallado del cuerpo utilizando la malla Solid al tratarse de elemento macizo. A continuación situamos las cargas y las condiciones de contorno.

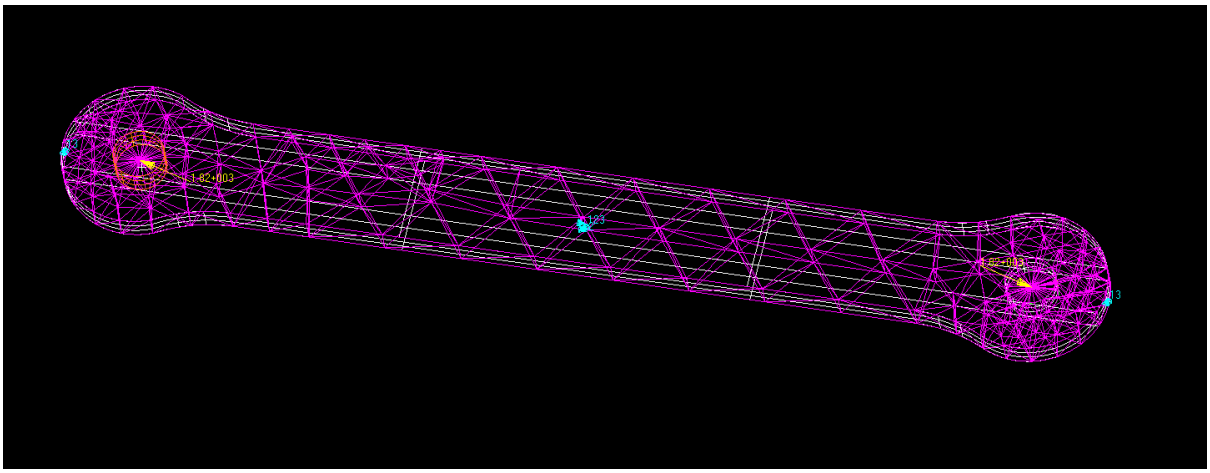


Imagen 2-11: Mallado y fuerzas en la bieleta Ref.[12]

Realizamos la simulación.

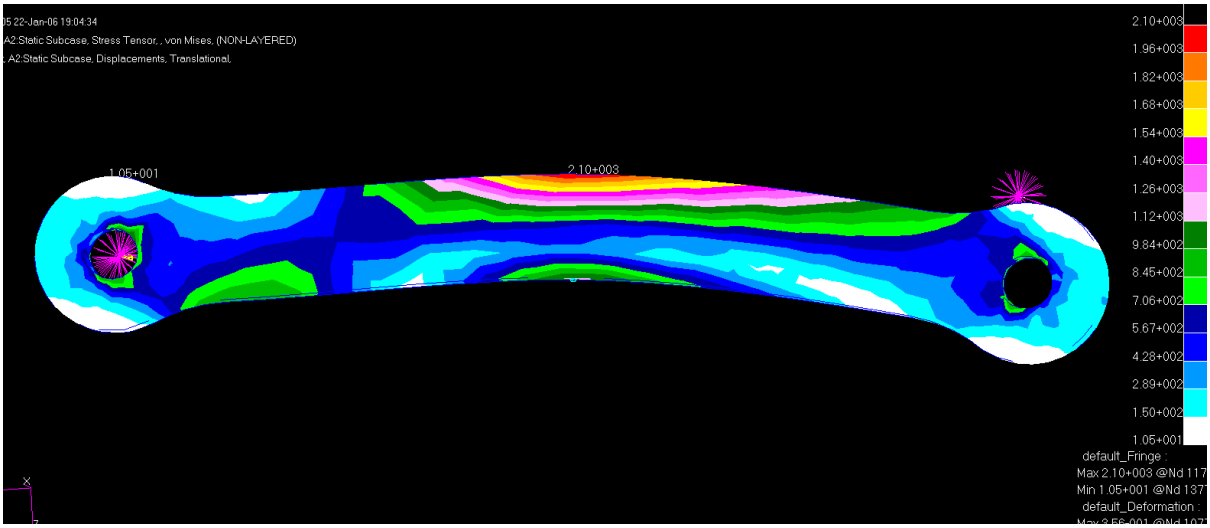


Imagen 2-12: Tensiones y deformaciones en la bieleta Ref.[12]

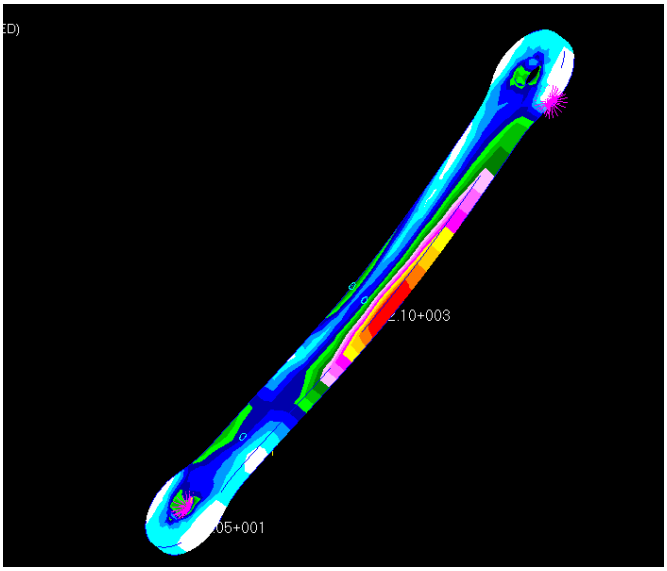


Imagen 2-13: Tensiones y deformaciones en la bieleta Ref.[12]

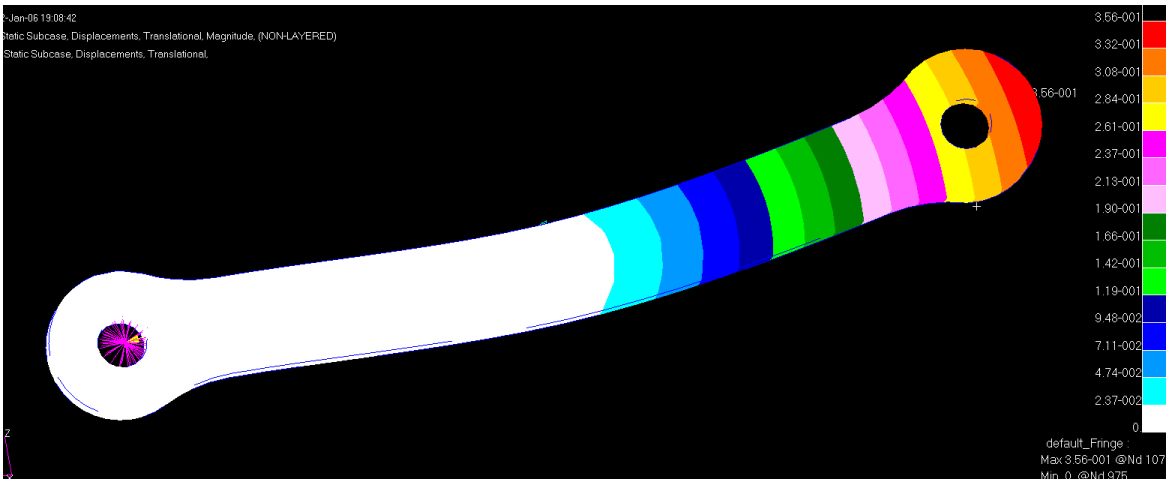


Imagen 2-14: Desplazamientos en la bieleta Ref.[12]

2.3.2. Conclusión

La tensión máxima es inferior a la tensión elástica del material por lo que nuestro cuerpo resistirá los esfuerzos producidos

3. ESTUDIO Y SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA SUSPENSIÓN

Partiendo del diseño elegido en la memoria del proyecto, donde estudiamos las diferentes configuraciones que se han diseñado hasta ahora por los principales fabricantes, analizamos a continuación el comportamiento de la suspensión. En el apartado 5.4. Soluciones estudiadas nos decantamos por el sistema de suspensión Uni-Track, en el que el balancín se encuentra unido al chasis y a su vez está conectado con el amortiguador y las bieletas. El amortiguador se une al chasis por su parte superior y las bieletas permiten conectar el balancín con el basculante.

A continuación estudiaremos el comportamiento de este modelo de suspensión y los parámetros que podemos variar para lograr el máximo rendimiento del sistema, así como poder adaptarnos a las diferentes situaciones que se requieren en la competición MotoStudent. Para dicho estudio utilizaremos el software Motorcycle Kinematics de Tony Foale, que nos permite simular numerosos parámetros y dibujar gráficas en las que nos apoyaremos para el análisis de la suspensión.

3.1. ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS DEL DISEÑO

A continuación dibujamos nuestro modelo e introducimos los valores del mismo, tales como los valores dimensionales o las constantes del muelle o del amortiguador.

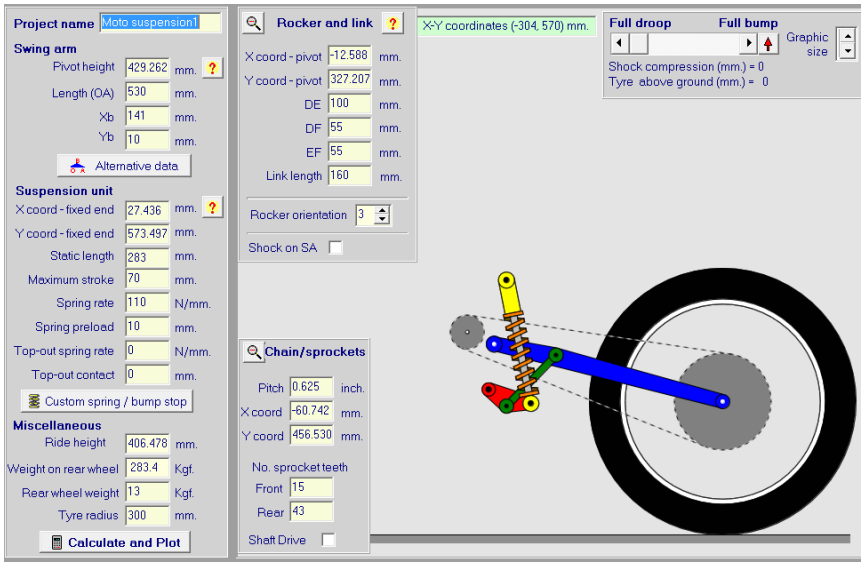


Imagen 3-1: Configuración suspensión Ref.[2]

Una vez realizado este paso podemos realizar las gráficas del comportamiento de la suspensión. Una de las más importantes, y ya analizadas en otros modelos en la memoria de este proyecto, es la relación entre el desplazamiento vertical de la rueda ante la fuerza ejercida. Esta indica cómo se va a desplazar la rueda y en consecuencia todo el conjunto de la moto ante una fuerza externa, como puede ser un bache, una frenada o una aceleración.

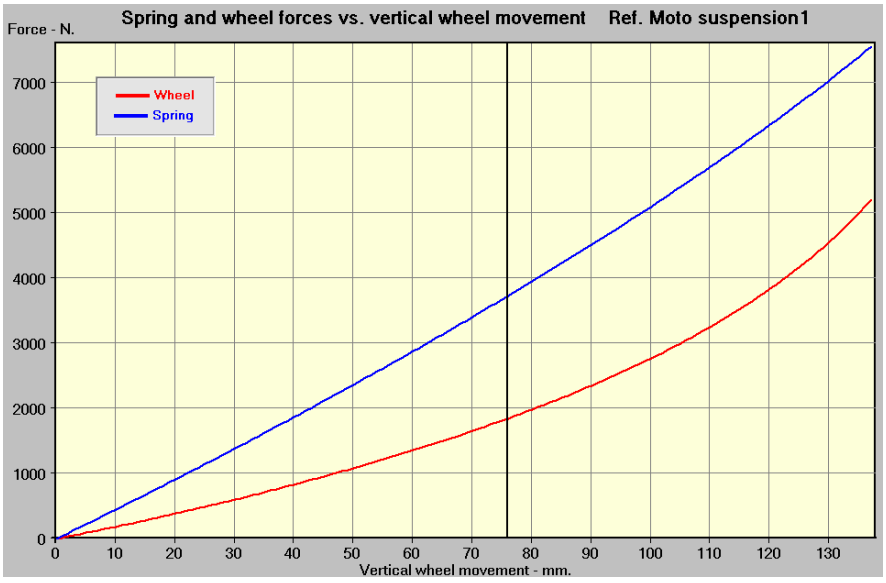


Imagen 3-2: Fuerza con respecto a mov. vertical de la rueda Ref.[2]

Como podemos observar en la gráfica, el movimiento de la rueda frente a la fuerza sigue una curva parabólica, de manera que el desplazamiento se produce de manera progresiva. Este comportamiento era el buscado desde un principio en nuestro diseño.

A continuación pasamos a analizar la energía almacenada por el muelle-amortiguador con respecto al movimiento vertical de la rueda. Obtenemos una curva en la que la energía crece exponencialmente conforme la rueda se desplaza por lo que tendremos un comportamiento del muelle-amortiguador suave para pequeños desplazamientos y duro para grandes movimientos de la rueda.

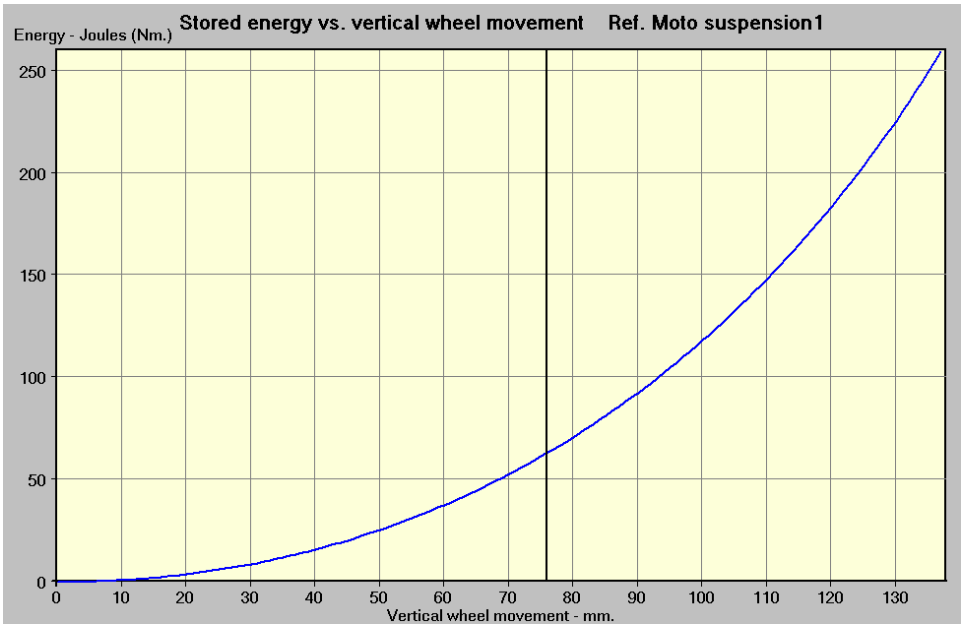


Imagen 3-3: Energía almacenada en el muelle con respecto al mov. de la rueda Ref.[2]

Por último analizamos las fuerzas en el balancín y en las bieletas con respecto al movimiento vertical de la rueda. Esta gráfica nos aportan una visión de cómo se comportan las fuerzas en relación a la posición en el proceso de la suspensión. Como podemos observar, las fuerzas aumentan conforme avanza el movimiento vertical.

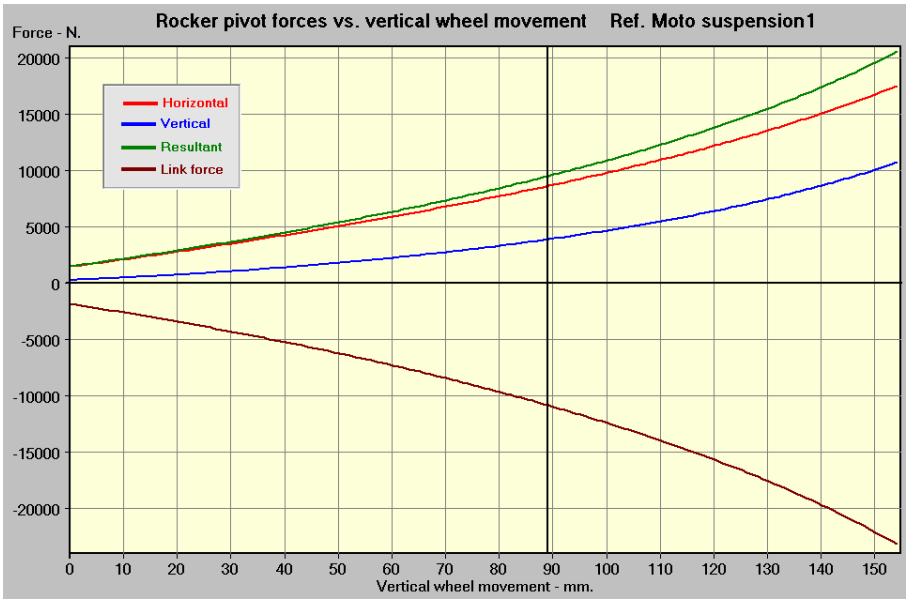


Imagen 3-4: Fuerzas en el balancín con respecto a mov. vertical de la rueda Ref.[2]

3.2. ESTUDIO CON DIFERENTES CONFIGURACIONES DEL AMORTIGUADOR

Partimos del diseño anterior y preparamos nuestro sistema de suspensión para trabajar con diferentes precargas del amortiguador. En este caso estudiaremos tres precargas: precarga nula (0mm), precarga de 10 mm y precarga de 20mm. El software Motorcycle Kinematics nos permite dibujar las gráficas superpuestas, por lo que estudiaremos las gráficas de los tres casos a la vez.

Comenzamos comparando el desplazamiento del amortiguador con respecto a la fuerza del muelle. Como podemos observar en la gráfica inferior, la precarga del amortiguador provoca un fuerza inicial en el muelle progresiva. Si deseamos que nuestro amortiguador trabaje en un intervalo de 30mm, tendremos en cuenta que la carga del muelle variará según la precarga que hayamos predispuesto, como se ve reflejado en la gráfica.

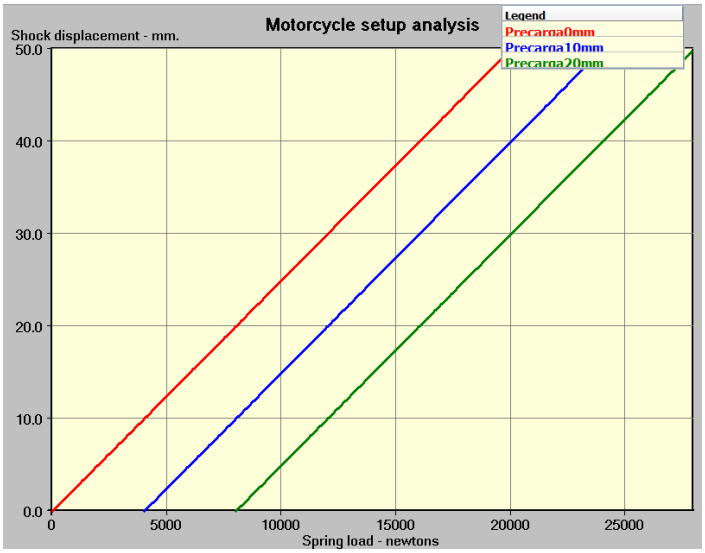


Imagen 3-5: Desplazamiento del amortiguador frente a carga en el muelle Ref.[2]

Por tanto, si deseamos un menor movimiento del amortiguador y, por tanto, una suspensión más "dura", aumentaremos la precarga del amortiguador hasta el valor deseado. Este caso puede darse en la carrera de la competición, mientras en la prueba de la Gymkana necesitaremos una suspensión más activa por lo que nos decantaremos por una precarga nula.

A continuación estudiaremos el desplazamiento del amortiguador con respecto a la energía que almacena el muelle. Consecuentemente, la energía que almacena para un mismo desplazamiento del amortiguador será mayor cuanto mayor sea la precarga.

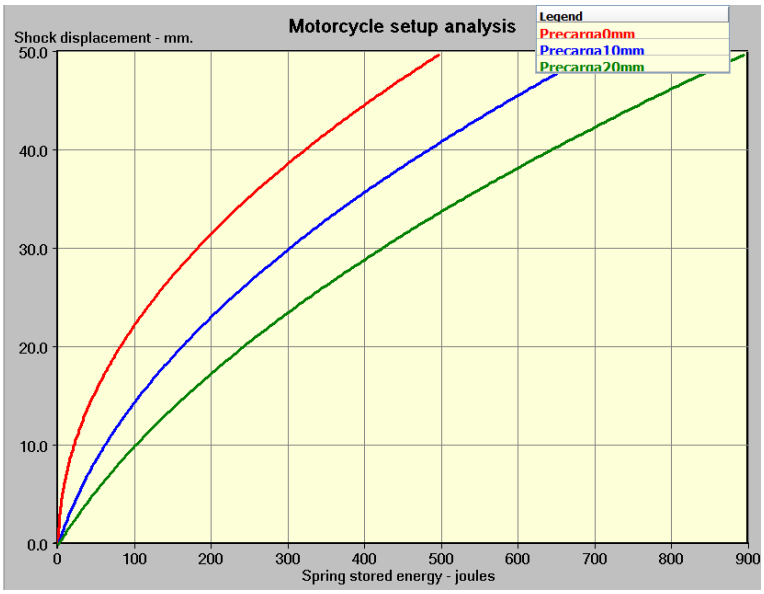


Imagen 3-6: Desplazamiento del amortiguador frente a energía del muelle Ref.[2]

Por último, estudiaremos las fuerza que se desarrollan en el balancín y en las bieletas con respecto al movimiento del amortiguador. Las siguientes gráficas nos permitirán observar como aumentan o disminuyen las cargas con respecto a las diferentes configuraciones del amortiguador.

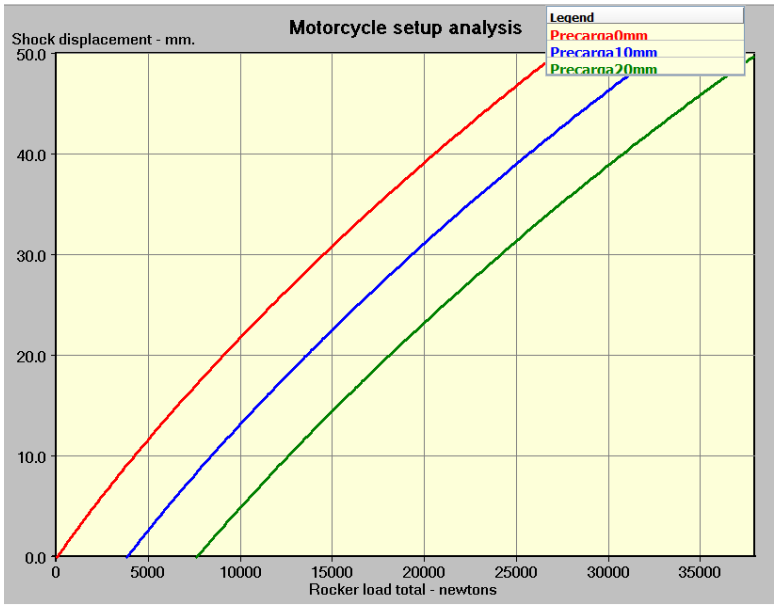


Imagen 3-7: Desplazamiento del amortiguador frente a carga en el balancín Ref.[2]

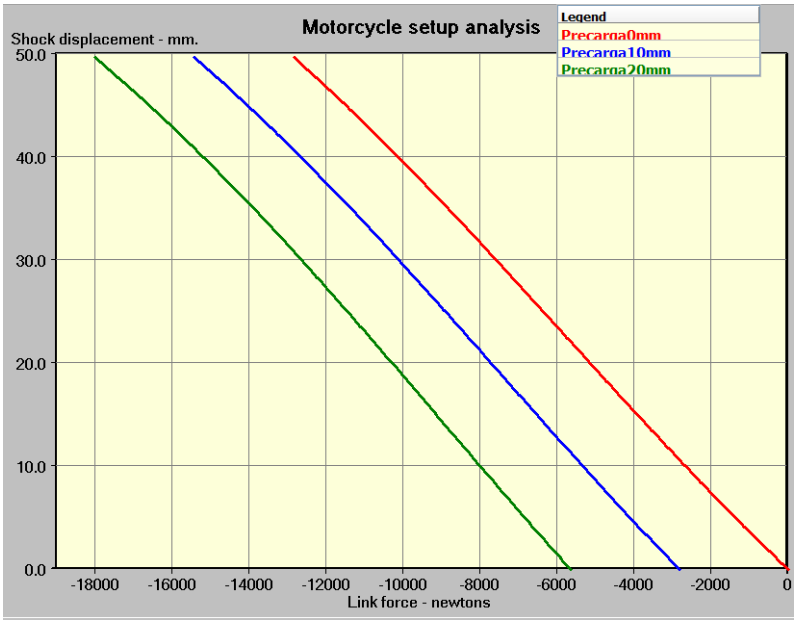


Imagen 3-8: Desplazamiento del amortiguador frente a carga en las bieletas Ref.[2]

Basándonos en ambas gráficas, podemos concluir que las fuerzas en los elementos de la suspensión aumentan conforme la precarga aumenta

3.3. ESTUDIO CON DIFERENTES LONGITUDES DE BIELETAS

En el sistema de suspensión Uni-Track, así como en el resto de sistemas con balancín y bieletas, el dimensionamiento de las bieletas es fundamental para el correcto funcionamiento del mismo. Esto es así ya que este elemento es el que articula el movimiento entre el elemento ternario, el balancín, y el elemento principal, el basculante. Para el siguiente estudio configuramos nuestro programa para trabajar con tres longitudes de bieletas:

- Modelo 1: longitud de bieleta de 150mm (línea roja)
- Modelo 2: longitud de bieleta de 160mm (línea azul)
- Modelo 3: longitud de bieleta de 170mm (línea verde)

A continuación analizamos el comportamiento del amortiguador con respecto al desplazamiento vertical de la rueda en cada caso. Como podemos observar en la gráfica inferior el comportamiento es parecido en las tres configuraciones pero las pendientes difieren, siendo el comportamiento de las bieletas de 150mm más "blando", por lo que el amortiguador recorre más distancia en el mismo desplazamiento de la rueda. Por el contrario, el sistema con las bieletas de 170mm tendrá un menor desplazamiento conforme se desplace la rueda.

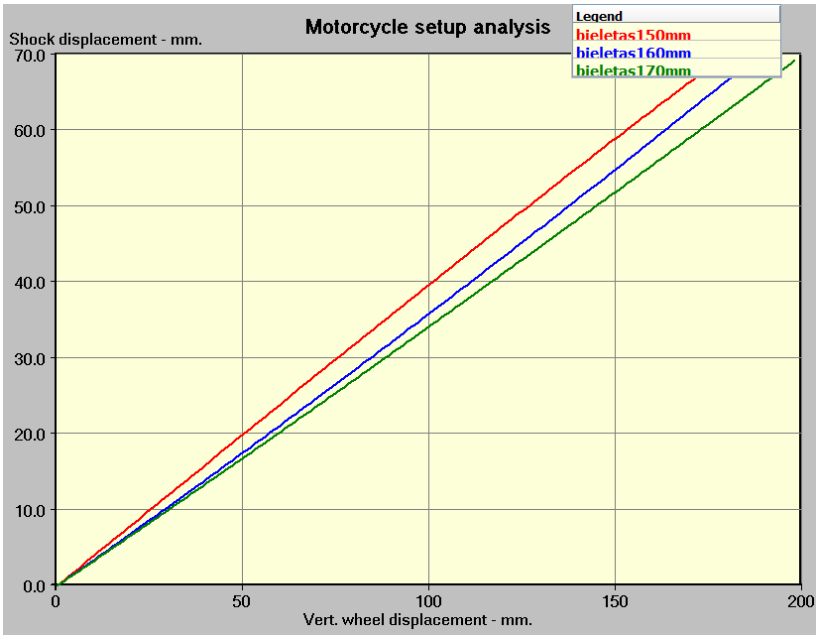


Imagen 3-9: Desplazamiento del amortiguador frente a mov. vertical de la rueda Ref.[2]

Por último analizamos la relación entre el desplazamiento de la rueda y las fuerzas que se desarrollan en el balancín. Podemos observar en la gráfica inferior que el comportamiento en cada caso es muy distinto, siendo el de las bieletas más cortas lineal, mientras las otras dos configuración su comportamiento sigue una trayectoria parabólica, aumentando las fuerzas conforme aumenta el desplazamiento. Por tanto el caso idóneo sería la configuración de bieletas de 150mm (curva roja), ya que ofrece un comportamiento óptimo y las fuerzas desarrolladas en el balancín son menores.

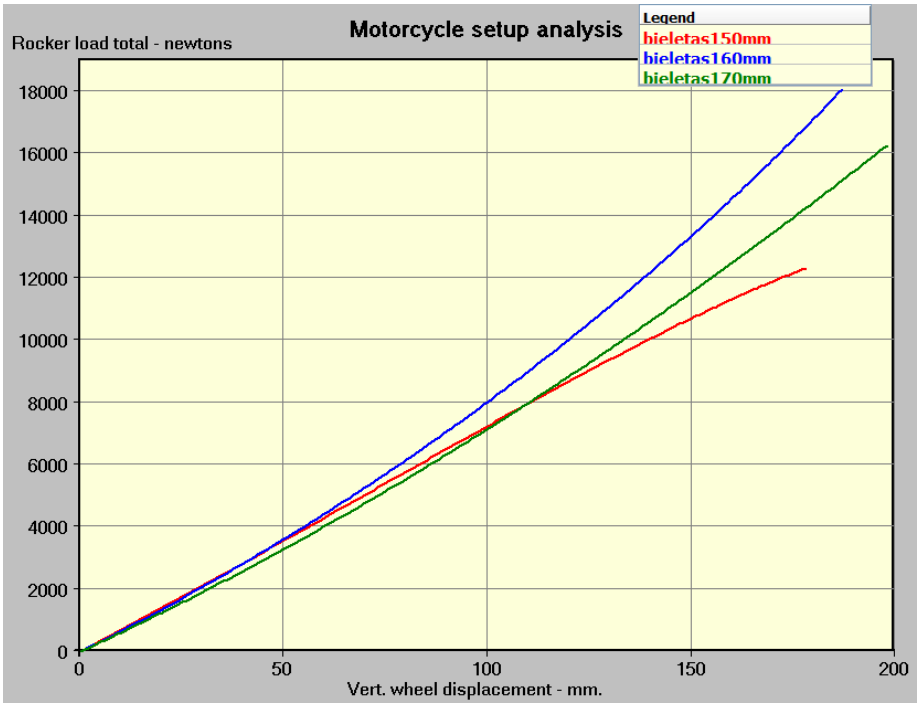
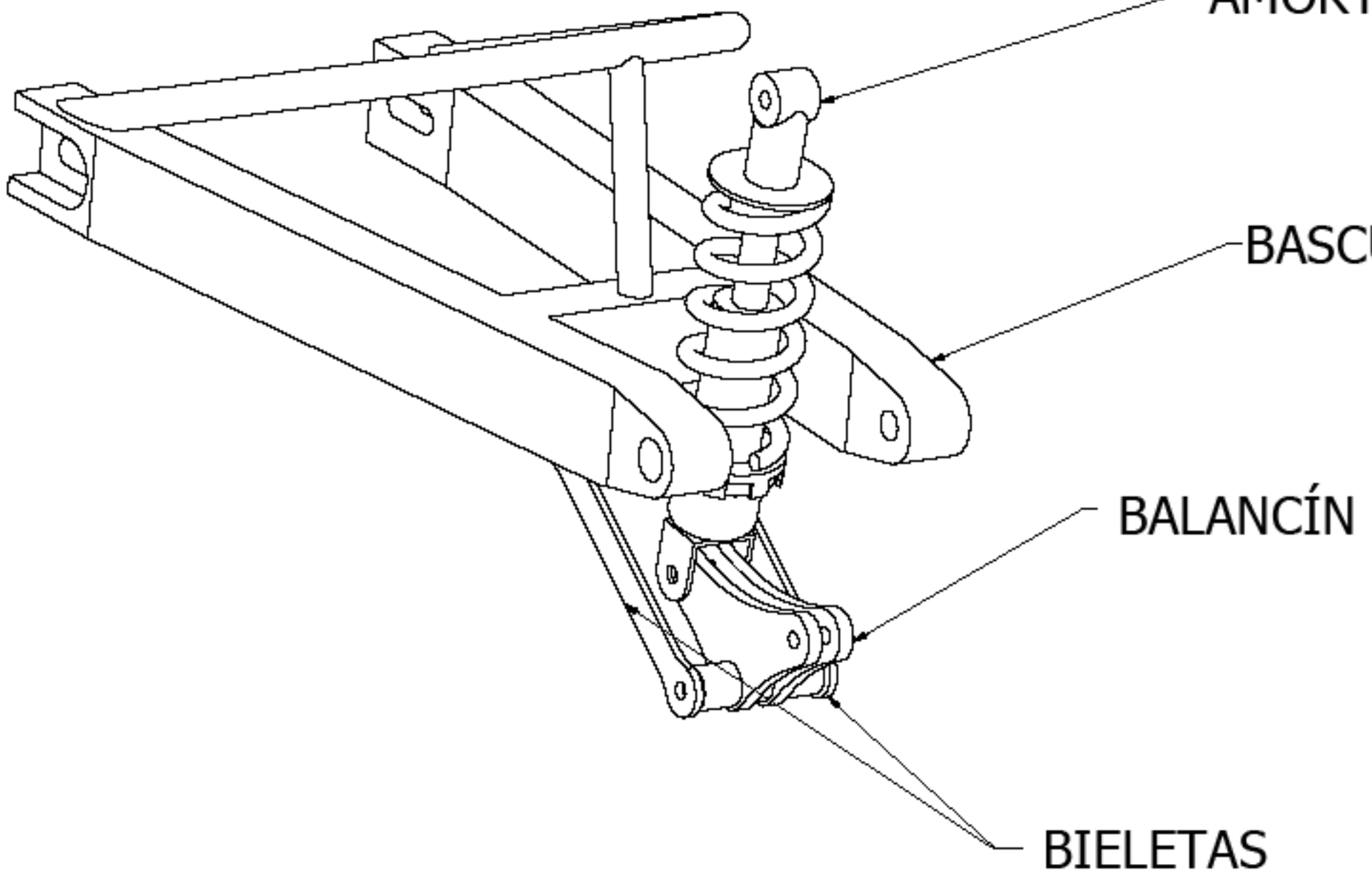
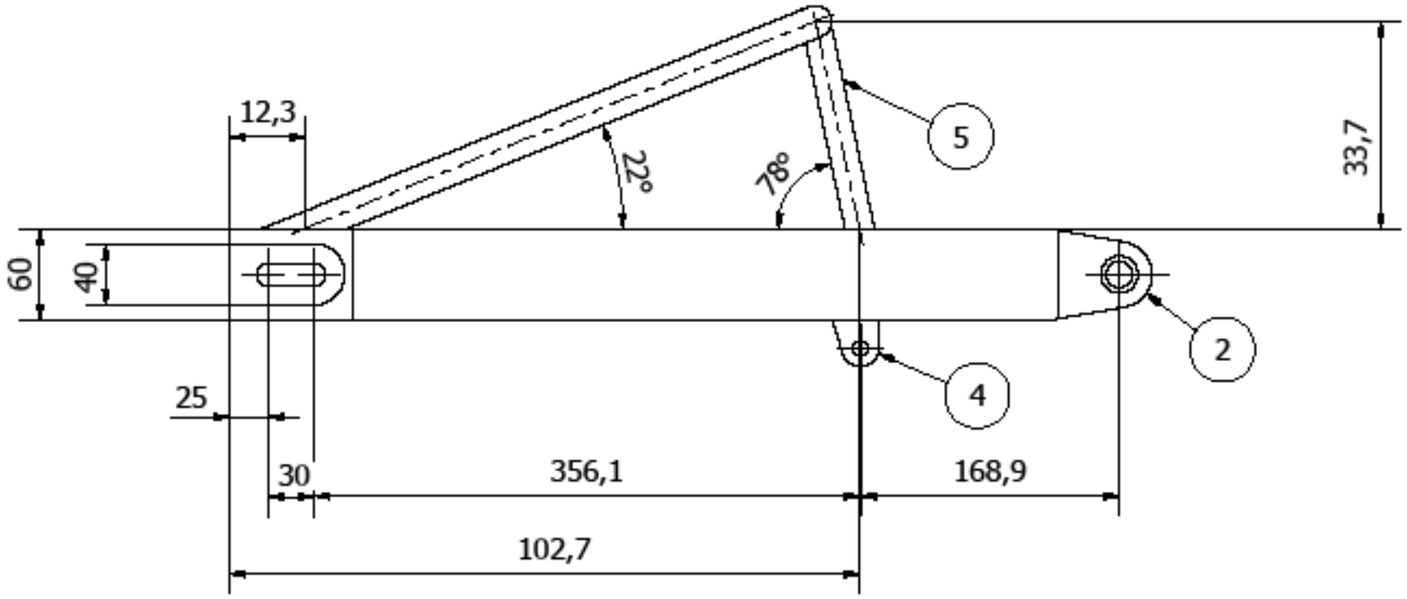


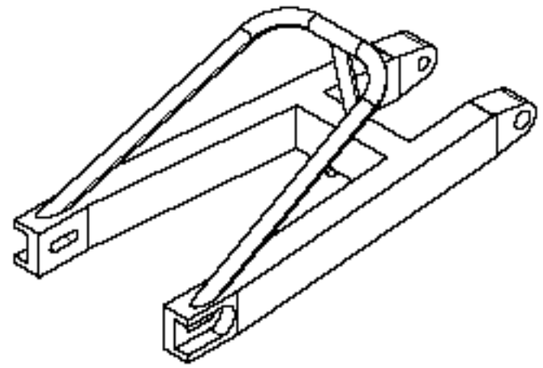
Imagen 3-10: Fuerzas en el balancín frente a mov. vertical de la rueda Ref.[2]

PLANOS



Diseño de: Victor Chacartegui		Aprobado por: Pablo Garcia — FECHA	ESCALA 1:3	FECHA: 09/04/2017	
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA		CONJUNTO SUSPENSIÓN		Edición	Hoja: 1 / 1

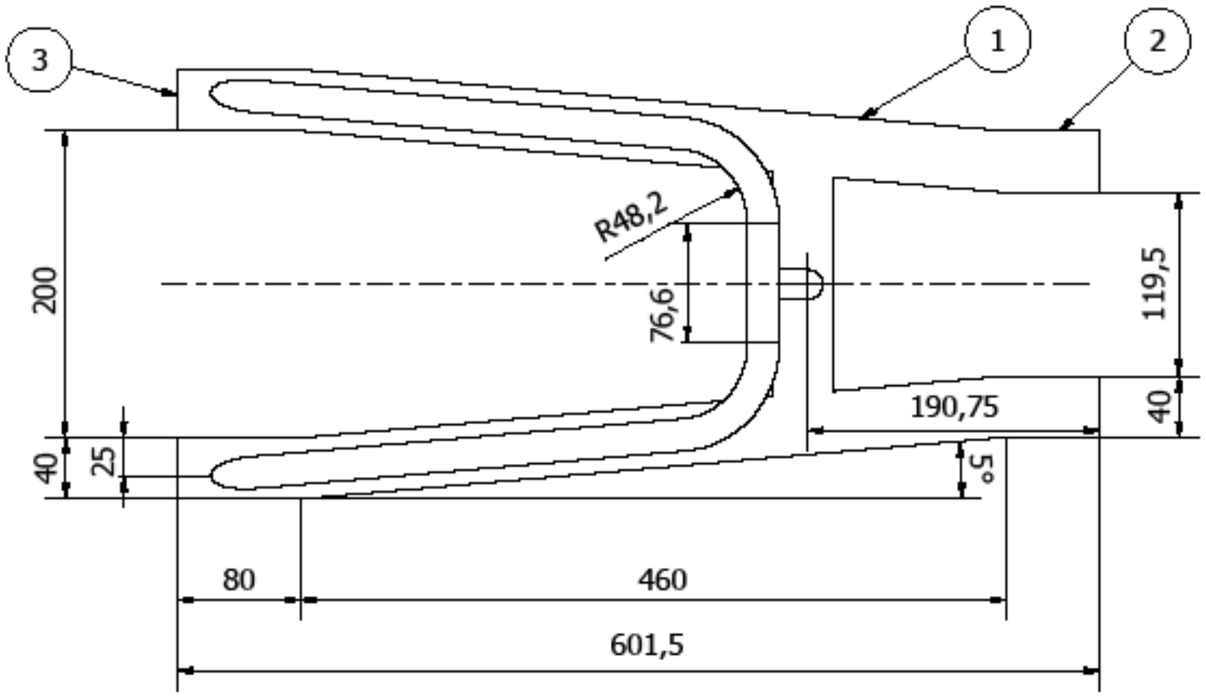




TODAS LAS COTAS EN MILÍMETROS

PLANOS DE LOS SUBCONJUNTOS A CONTINUACIÓN

TOLERANCIAS DIMENSIONALES Y GEOMÉTRICAS
SEGÚN NORMA ISO 286-1:1988 Y ISO 5459



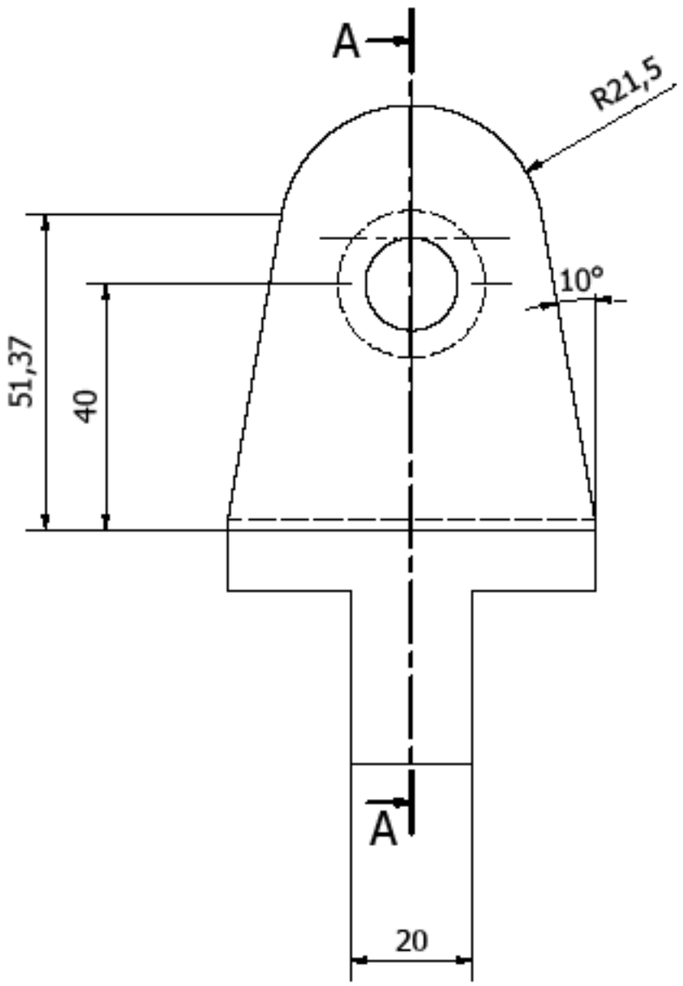
LISTA DE PIEZAS

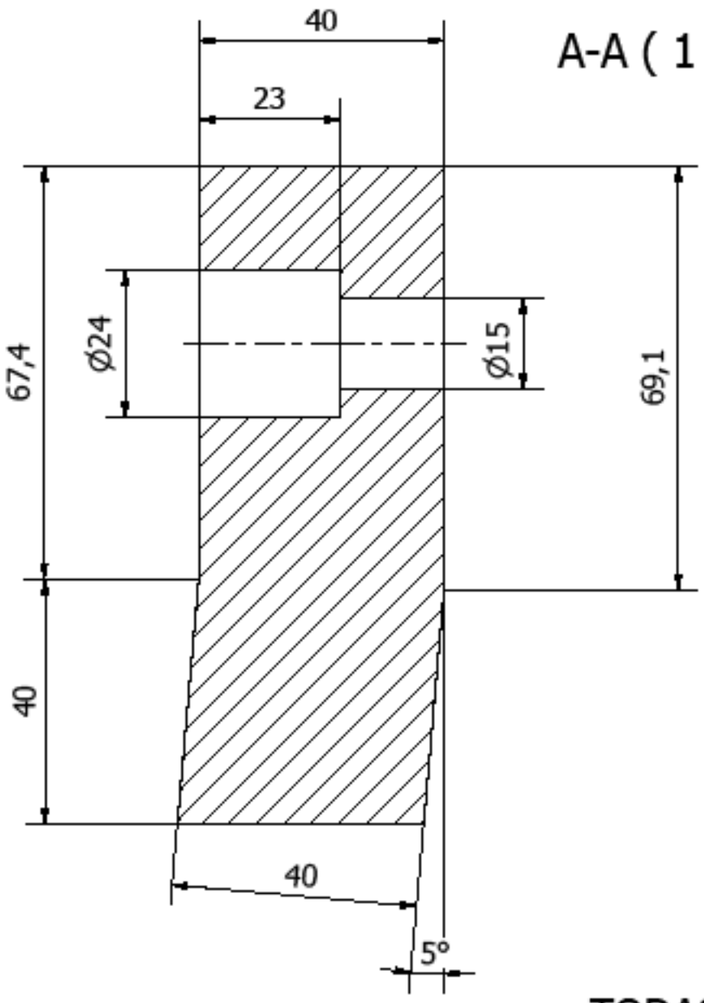
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	2	Perfiles 60x40x3	Aluminio 6082 T6
2	2	Acople delantero	Aluminio 6082 T6
3	2	Acople trasero	Aluminio 6082 T6
4	1	Acople bieletas	Aluminio 6082 T6
5	1	Perfiles tubulares Dext 20, espesor 3	Aluminio 6082 T6

Diseño de		Aprobado por FECHA	ESCALA 1:4	FECHA	
Victor Chacartegui		Pablo Garcia		09/04/2017	

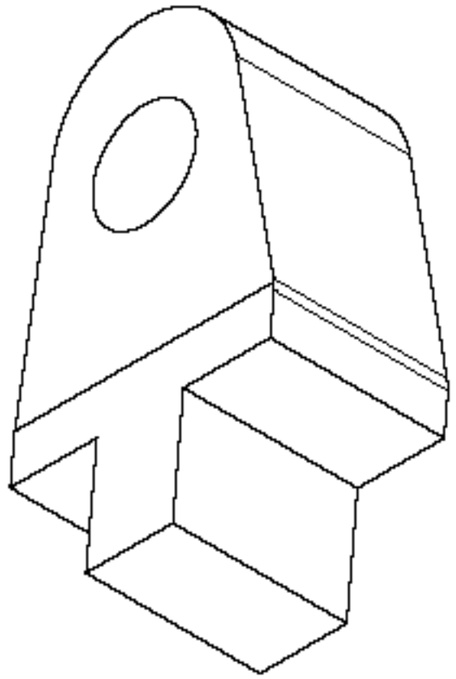
Material: Aluminio 6082 T6

CONJUNTO BASCULANTE	Edición	Hoja
		1 / 1





A-A (1 : 1)

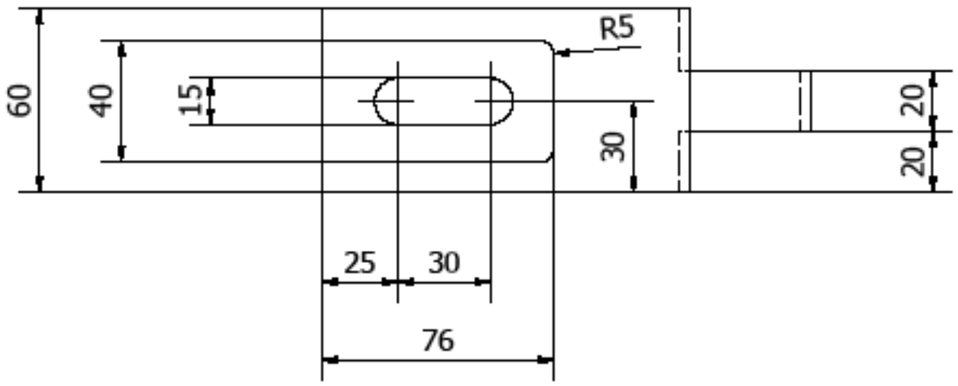


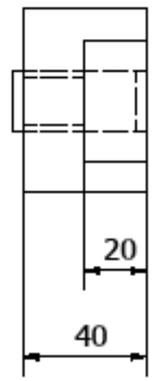
TODAS LAS COTAS EN MILÍMETROS

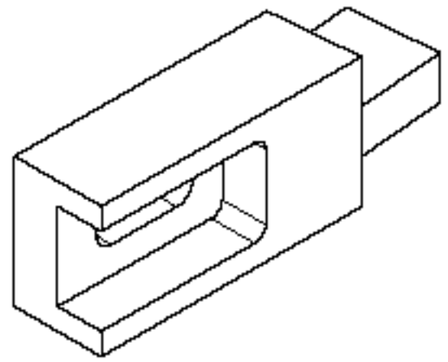
TOLERANCIAS DIMENSIONALES Y GEOMÉTRICAS
SEGÚN NORMA ISO 286-1:1988 Y ISO 5459

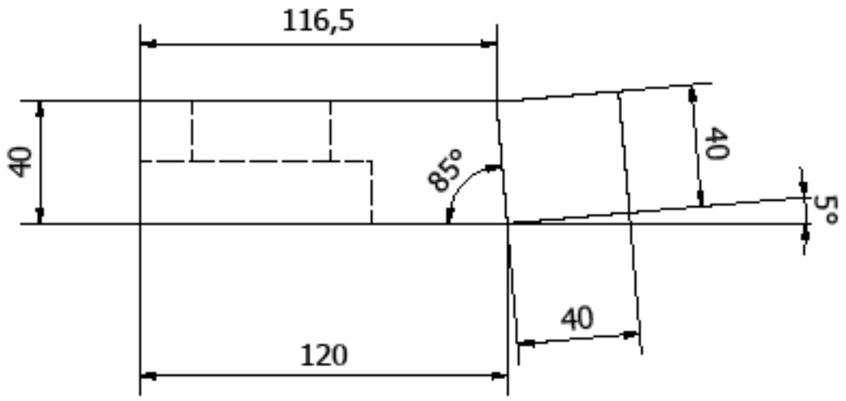
FABRICAR EL SIMÉTRICO A MANO DERECHA

Diseño de: Victor Chacartegui		Aprobado por: Pablo Garcia	FECHA	ESCALA 1:1	FECHA: 09/04/2017
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA		MATERIAL: ALUMINIO 6082 T6			
		ACOPLE DELANTERO		Edición	Hoja: 1 / 1







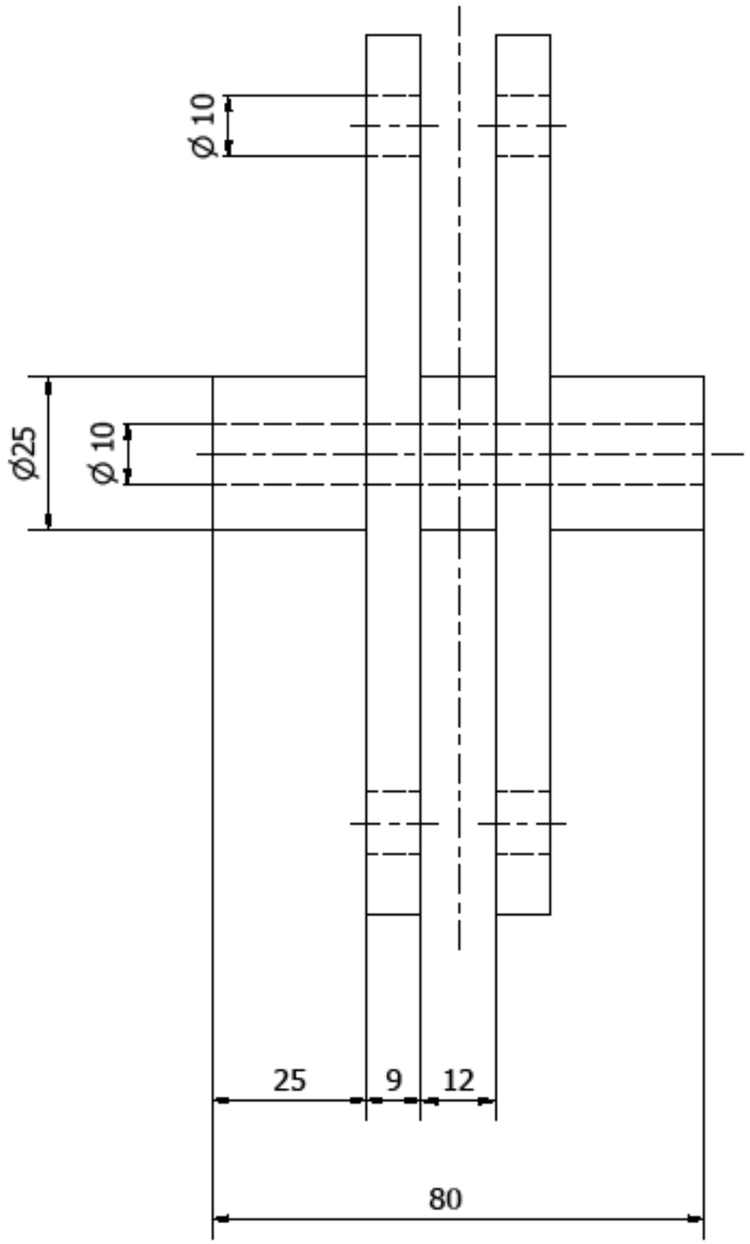


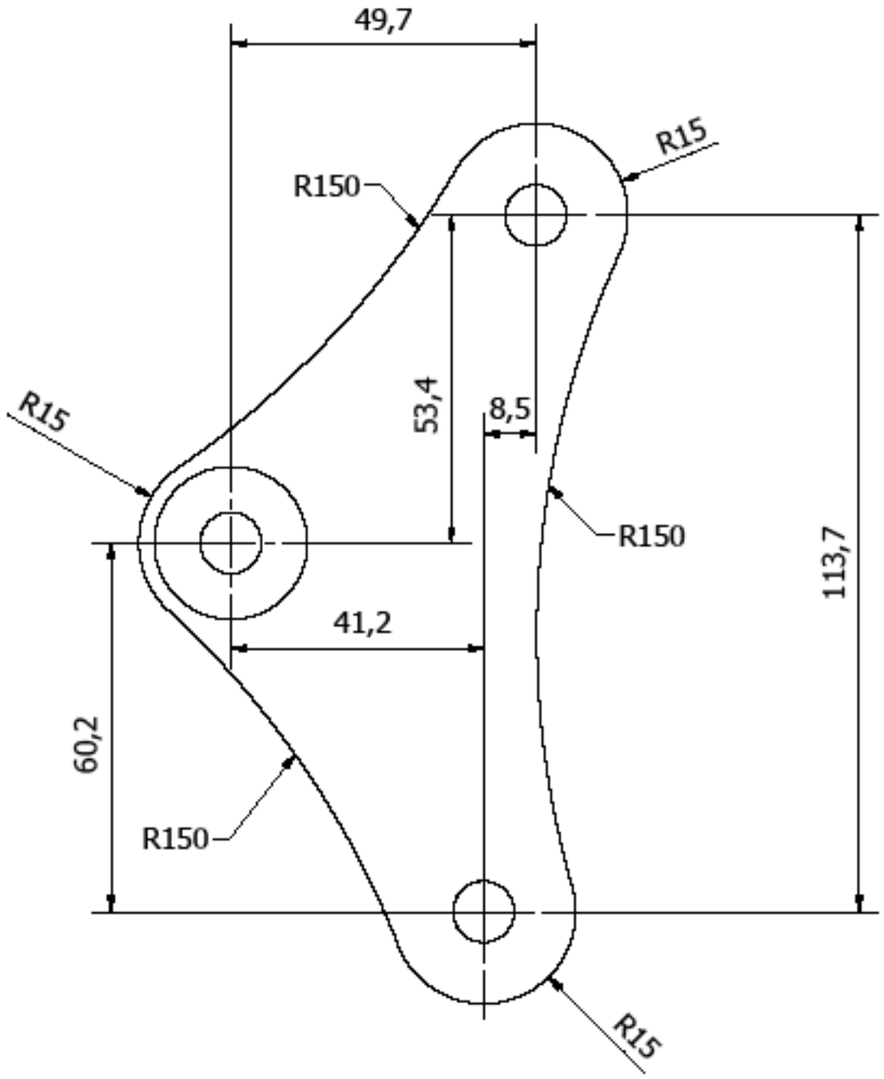
TODAS LAS COTAS EN MILÍMETROS

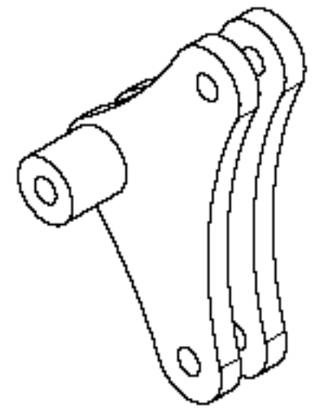
TOLERANCIAS DIMENSIONALES Y GEOMÉTRICAS
SEGÚN NORMA ISO 286-1:1988 Y ISO 5459

FABRICAR EL SIMÉTRICO A MANO IZQUIERDA

Diseño de: Victor Chacartegui		Aprobado por: Pablo Garcia	FECHA	Escala 1:2	FECHA: 09/04/2017
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA		Material: Aluminio 6082 T6			
		ACOPLE TRASERO		Edición	Hoja: 1 / 1







TODAS LAS COTAS EN MILÍMETROS

TOLERANCIAS DIMENSIONALES Y GEOMÉTRICAS
SEGÚN NORMA ISO 286-1:1988 Y ISO 5459

Diseño de		Aprobado por FECHA	ESCALA 1:1	FECHA	
Victor Chacartegui		Pablo Garcia		09/04/2017	

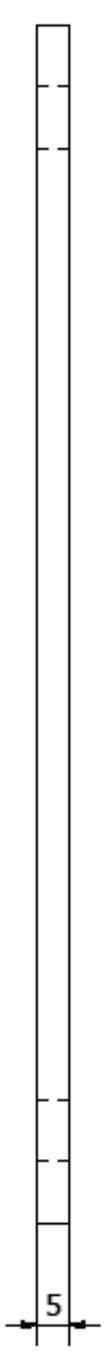
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

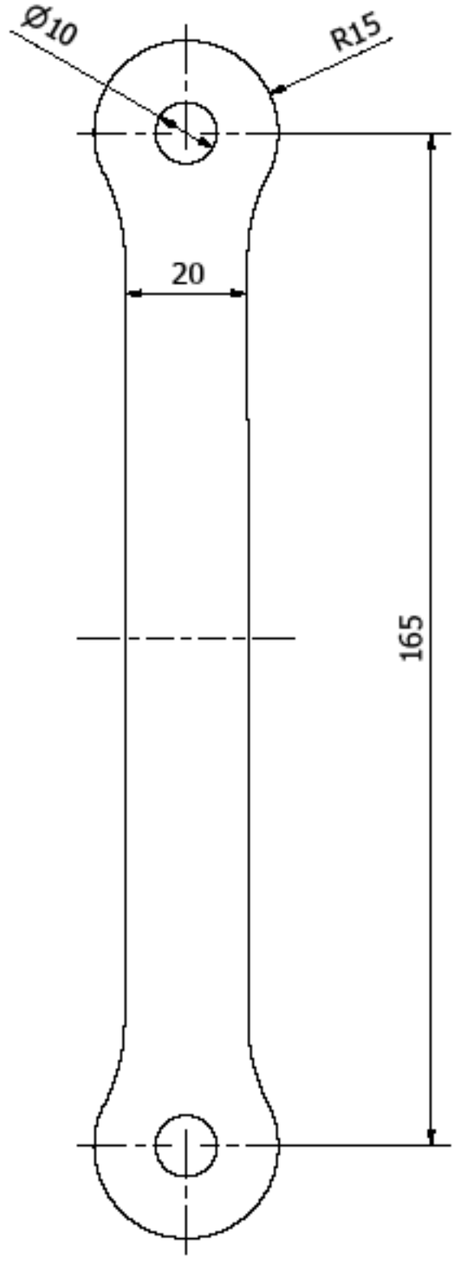
UC Racing Team

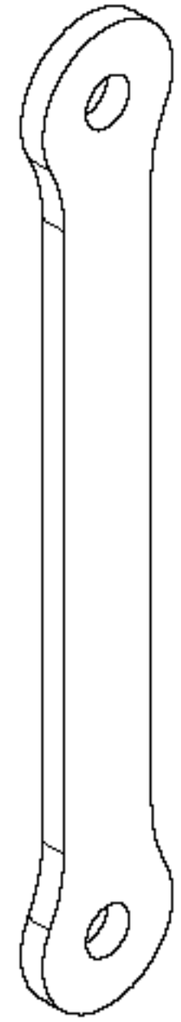
Material: Aluminio 6082 T6

BALANCÍN

Edición	Hoja
	1 / 1







TODAS LAS COTAS EN MILÍMETROS

TOLERANCIAS DIMENSIONALES Y GEOMÉTRICAS
SEGÚN NORMA ISO 286-1:1988 Y ISO 5459

2 UNIDADES

Diseño de: Víctor Chacartegui		Aprobado por: Pablo Garcia	FECHA	ESCALA 1:1	FECHA: 09/04/2017
UC UNIVERSIDAD DE CANTABRIA		MATERIAL: ALUMINIO 6082 T6			
		BIELETAS		Edición	Hoja: 1 / 1

PLIEGO DE CONDICIONES

1. PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES

1.1. DISPOSICIONES GENERALES DEL PROYECTO

Este pliego de condiciones quiere ser la base y el apoyo en la fabricación del basculante y la suspensión trasera de la motocicleta, objetivo del proyecto. Por tanto, se definen las condiciones en las que se realizará el contrato con el constructor, desde su aspecto legal, económico y técnico.

El objeto del proyecto consiste en el diseño de la suspensión trasera y del basculante de la motocicleta que participará en MotoStudent 2016 con el equipo de UC Racing Team de la Universidad de Cantabria. Además del diseño profundiza en el estudio del sistema de suspensión, el dimensionamiento de los componentes, los esfuerzos y las deformaciones producidas y la construcción del mismo.

1.2. CONDICIONES LEGALES Y ADMINISTRATIVAS

Para el realizar el proyecto correctamente se fijarán las condiciones en los siguientes documentos:

1. El pliego de condiciones presente en este apartado del proyecto.
2. Los planos correspondientes a cada pieza del sistema de suspensión, reflejadas en el apartado PLANOS.
3. La memoria de cálculos, en el anexo correspondiente
4. El presupuesto, en el apartado PRESUPUESTO

Para la realización de los trabajos se debe seguir estos documentos.

El contrato de los mismos se redactará mediante un documento privado entre el promotor, en este caso el equipo UC Racing Team, y el constructor. En el caso de no llegar a acuerdo

sobre cualquier aspecto del contrato se derivará el caso a los Tribunales Administrativos para su resolución.

En cuanto a las relaciones para la ejecución del trabajo entre el equipo UC Racing Team y el constructor se basarán en el principio de buena fe de ambas partes, ya que ambas se benefician de esta colaboración.

En la planificación de la seguridad se deberá cumplir el Real Decreto 1215/1997, estableciéndose las condiciones mínimas de seguridad para los trabajadores y se deberá seguir la legislación vigente.

En cuanto a la limpieza de los trabajos éstos deberán ser realizados de manera correcta, manteniendo limpias todas las instalaciones y ocupándose de retirar los deshechos y sobrantes a su lugar correspondiente en el caso de que tengan que reciclados .

2. PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS PARTICULARES

2.1. DISPOSICIONES FACULTATIVAS Y OBLIGACIONES DE LOS PARTICIPANTES EN EL PROYECTO

2.1.1. El promotor

El promotor del proyecto es, en este caso, el equipo UC Racing Team y su obligación es realizar el proyecto de fabricación de una motocicleta de competición. Para ello debe redactar un proyecto que contenga toda la información necesaria para su fabricación, incluyendo todos los cálculos, planos y detalles para su correcto desarrollo. Estos documentos seguirán la normativa vigente y serán realizados por ingenieros técnicos competentes.

2.1.2. El constructor

El constructor es aquel que fabrica mediante medios materiales y humanos el proyecto, una vez redactado por el promotor. La relación entre el promotor y el constructor se define en el contrato y en el pliego de condiciones.

El constructor deberá tener la habilidades y la titulación que se exija para realizar el proyecto, así como las condiciones que se establecen legalmente. Es responsabilidad del constructor aquellas medidas que afecten a la seguridad y debe cumplir con las condiciones en materia de prevención de riesgos laborales de acuerdo a la legislación vigente. El constructor deberá realizar una supervisión de su trabajo tanto desde el puesto de vista de la calidad como de la seguridad. Su trabajo se desarrollará conforme a la documentación dada por el equipo UC Racing Team. El constructor es responsable de la disposición de personal para la realización de las tareas, así como de su formación y capacidad para realizar el mismo.

2.1.3. El director del proyecto

El director del proyecto será aquella persona que, formando parte del equipo UC Racing Team, se encargue de la labores de dirección del equipo en todos los campos del proyecto. Deberá definir las actividades de cada uno de los componente del equipo y revisar su trabajo, tramitar las licencias y ser la principal vía de coordinación y comunicación del equipo UC Racing Team.

Es tarea del director del proyecto realizar las modificaciones que estime oportunas para la correcto desarrollo del proyecto. En el caso causa de fuerza máxima podrá detener la realización del proyecto.

2.2. ESPECIFICACIONES DE MATERIALES Y EQUIPOS

Antes de realizar la ejecución del proyecto, el constructor está obligado a informar al equipo UC Racing Team sobre el tipo y la procedencia de los materiales, el equipo y las herramientas con las que va a realizar el trabajo así como las especificaciones técnicas y calidades de todos ellos.

El material de fabricación se deberá almacenar con forme a las normas del fabricante y no se deberá utilizar en el caso de superar su vida útil o en caso de observar algún tipo de defecto.

El constructor puede utilizar los equipos y materiales que desee conforme a sus intereses en el caso de que no se refleje el mismo en los documentos correspondientes.

En el caso de tener que realizar algún ensayo previo a la fabricación del prototipo, este correrá a cargo del constructor.

2.3. ESPECIFICACIONES DE EJECUCIÓN

Para realizar el corte del material se realizará mediante sierra de cizalla o mediante oxicorte automático. En cuanto al conformado del material para realizar la geometría requerida en el

plano, se podrán realizar las operaciones de doblado o prensado siempre y cuando se realicen de forma correcta.

En el proceso de soldadura se deberá de realizar mediante el método de soldadura TIG y teniendo en cuenta los cálculos realizados en el apartado 1.5.3. Cálculo de soldaduras, donde se detalla el espesor de cordón de soldadura. Así mismo se seguirá la norma DIN 1910 y siguientes, que regulan el proceso de soldado. Se deberá tener especial atención a la limpieza del puesto de trabajo y el ambiente en el que se realiza. También se deberá disponer de un sistema de extracción de humos con el fin de evitar inhalar los gases producidos en el proceso de soldado. Una vez realizada la soldadura se deberán inspeccionar, preferiblemente con un ensayo de partículas magnética para comprobar que no existen defectos superficiales ni fisuras.

En cuanto a la perforación o al punzonado, se realizará mediante un taladro con broca o un escariador con la medida correspondiente al agujero deseado. Se tendrá especial atención a las rebabas producidas en el taladrado para su posterior eliminación. Para realizar uniones mediante tornillos se realizarán conforme a lo redactado en el proyecto, atendiendo al par requerido en cada tornillo.

2.4. TRABAJOS DEFECTUOSOS

El constructor es el responsable de la ejecución del proyecto y por lo tanto debe cumplir con todas las condiciones de este proyecto. Este hecho estará reflejado en el contrato firmado entre ambas partes.

El constructor empleará los materiales adecuados conforme al proyecto y será responsable de que éstos no tengan ningún defecto de fabricación. Así mismo el constructor es responsable de los defectos originados en la fabricación y en el caso de que no se ajuste a lo reflejado en el proyecto deberá repetir el trabajo y realizarlo de forma correcta.En el caso de que se produzcan vicios ocultos en la fabricación del prototipo el constructor será único responsable de los mismos. Por tanto, en el caso de que se reconozcan estos defectos, el constructor deberá rehacer el trabajo mal ejecutado sin coste alguno para el equipo UC Racing Team.

3. PLIEGO DE CONDICIONES ECONÓMICAS

3.1. CRITERIO GENERAL

Las condiciones económicas se redactan para el correcto funcionamiento de los pagos correspondientes por los trabajos realizados.

3.2. CONTRATO

El contrato se firmará antes del inicio de los trabajos entre el promotor, parte que solicita los servicios, y el constructor, parte que realiza los servicios. Este contrato debe evitar posibles mal interpretaciones y discrepancias entre el promotor y el constructor, teniendo que definir todas las clausulas correspondiente correctamente.

En cuanto a los pagos por los trabajos realizados, éstos serán percibidos en las fechas establecidas en el contrato, pudiendo exigir garantías en las obligaciones de pago.

3.3. PRECIOS

En el presupuesto se deberá incluir toda la información relativa al precio de fabricación, tanto de los materiales como de la mano de obra y los impuestos correspondientes. Este precio se especificará en las unidades correspondientes por separado, diferenciando el precio básico, el precio unitario (incluyendo los costes directos, directos complementarios y los costes indirectos).

En el caso de que el constructor no haya realizado ninguna observación anterior no podrá aumentar el precio de cualquier elemento del presupuesto. Estas reclamaciones serán asumidas por el constructor y su coste será asumido por él mismo.

3.4. PLAZOS DE EJECUCIÓN

La realización de los trabajos se desarrollará conforme a los plazos pactados entre el constructor y el equipo UC Racing Team, de tal manera que se respeten los mismos y el trabajo se desarrolle correctamente en el periodo pactado.

En el caso de que por parte del constructor se produjera algún retraso en la fabricación con respecto a los plazos planificados, el promotor podrá penalizar al constructor conforme a las penalizaciones establecidas en el contrato.

Una vez terminado el trabajo por parte del constructor se hará entrega del material finalizado al promotor y se realizará la liquidación del proyecto. En el caso de que alguna de las dos parte estuviera disconforme con algún aspecto y no se llegara a un acuerdo se presentaría los recursos correspondientes a los Tribunales.

3.4. VARIOS

El constructor estará obligado a mantener y asegurar el proyecto contratado mientras dure la fabricación del mismo. También deberá conservar en condiciones óptimas el material fabricado una vez haya concluido en el proceso de fabricación.

PRESUPUESTO

1. DISTRIBUCIÓN DEL PRESUPUESTO DEL PROTOTIPO

El presupuesto del proyecto recoge todas las partidas que forman el coste total del prototipo. Este presupuesto contempla los siguientes puntos, organizados según el origen de los componentes, diferenciando:

- Materia prima: aquellos materiales de origen primario, que se transformarán en el diseño del prototipo.
- Componentes normalizados o de serie: aquellos que se obtienen de un proveedor y que se encuentran recogidos a la normativa correspondiente.

Aparte de esta diferenciación por componentes, se han diferenciado los siguientes tipos de coste:

- Mano de obra directa.
- Mano de obra indirecta.
- Beneficio industrial.
- Coste total.

2. COSTE DE LOS COMPONENTES

2.1. MATERIA PRIMA

En este apartado se recogen aquellos materiales que servirán de base en la fabricación de los componentes fabricados.

Materia prima				
Materia prima	Unidades	Descripción	Precio unitario	Subtotal
Perfil aluminio 6082 60x40x3	2	Perfil rectangular de aluminio 6082 T6	26,8	53,6
Tubo aluminio 6082 Diam.20	1	Perfil redondo de aluminio 6082 T6	12,4	12,5
Bloque de aluminio 6082 T6 500x250x250	1	Bloque de aluminio 6082 T6 para su posterior fresado	120,8	120,8
			Total	**186,9 €**

Tabla 1: Presupuesto materia prima

El coste total de la materia prima asciende a **ciento ochenta y seis euros con nueve céntimos.**

2.2. COMPONENTES DE SERIE Y NORMALIZADOS

Componentes de serie normalizados				
Componente	Unidades	Descripción	Precio unitario	Subtotal
Amortiguador YSS ME302-295T-14	1	Amortiguador	98,60	98,60
Rodamiento de agujas NKXR 15	2	Rodamientos marca SKF	24,19	48,38
DIN 125 A M16	4	Arandela de ala estrecha	0,21	0,84
DIN 985 M14	4	Tuerca hexagonal	0,10	0,40
			Total	**148,22 €**

Tabla 2: Presupuesto componentes de serie

El coste total de los componentes de serie asciende a **ciento cuarenta y ocho euros con veintidós céntimos.**

3. MANO DE OBRA DIRECTA

Para el desarrollo del presupuesto del coste de mano de obra directa nos basamos en el convenio del metal en Cantabria en el año 2016, en el que se recoge el precio de mano de obra por hora trabajada. Para un oficial el salario se establece en 10,8 € / hora, mientras que para un ingeniero técnico es de 15,43 € / hora.

Mano de obra directa			
Proceso y componente	€ / hora	Horas	Subtotal
Soldado de basculante	10,8	9	97,2
Fresado de acople delantero	10,8	3	32,4
Fresado de acople trasero	10,8	3	32,4
Fresado de balancín	10,8	2,5	27
Corte laser de bieletas	10,8	0,3	3,24
Torneado de casquillos	10,8	1	10,8
Programación CNC	15,43	8	123,44
		Total	**326,48 €**

Tabla 3: Presupuesto mano de obra directa

La mano de obra directa asciende a **trescientos veintiséis euros con cuarenta y ocho céntimos.**

Firmado

Víctor Chacartegui García

4. MANO DE OBRA INDIRECTA

La mano de obra indirecta se trata de aquella derivada de las cuestiones administrativas y se considera un 20% de la mano de obra directa. Por lo tanto, el coste de la mano de obra indirecta asciende a **sesenta y cinco euros con tres céntimos**.

Firmado

Víctor Chacartegui García

5. GASTOS GENERALES

El concepto de gastos generales hace referencia a aquellos gastos derivados del desarrollo del proyecto, tales como los gastos de oficina, electricidad, limpieza u otras facturas. Se considera que su valor es de un 12% del total de los costes anteriores.

Los costes por gastos generales asciende a **ochenta y siete con veintitrés céntimos.**

Firmado

Víctor Chacartegui García

6. BENEFICIO INDUSTRIAL

El beneficio derivado de la realización del proyecto, al ser un prototipo único, se considera un 20% sobre los costes obtenidos anteriormente.

El beneficio industrial asciende a **ciento cuarenta y cinco euros con cuarenta céntimos.**

Firmado

Víctor Chacartegui García

7. COSTE TOTAL

7.1. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL

El presupuesto de ejecución material del proyecto es la suma de los costes totales debido a la fabriación:

Concepto	Coste (€)
Materia prima	186,9
Componentes normalizados	148,22
Mano de obra directa	326,48
Mano de obra indirecta	65,3
Total	**726,9 €**

Tabla 4: Presupuesto mano de ejecución material

El presupuesto de ejecución material asciende a **setecientos veintiséis euros con noventa céntimos.**

Firmado

Víctor Chacartegui García

7.2. PRESUPUESTO DE CONTRATA

El presupuesto de contrata del proyecto es la suma del presupuesto de ejecución material, los gastos generales y el beneficio industrial del proyecto.

Concepto	Coste
Presupuesto de ejecución material	726,9
Gastos generales	87,23
Beneficio industrial	145,38
Total	**959,51 €**

Tabla 5: Presupuesto mano de contrata

El presupuesto de ejecución material asciende a **novecientos cincuenta y nueve euros con cincuenta y un céntimo.**

Firmado

Víctor Chacartegui García

7.3. I.V.A.

El presupuesto del proyecto debe incluir el impuesto sobre el valor añadido, un 21% sobre el coste total de fabricación.

El I.V.A. asciende a **doscientos un euros con cincuenta céntimos.**

Firmado

Víctor Chacartegui García

7.4. PRESUPUESTO TOTAL

El presupuesto total será la suma del presupuesto de contrata más el I.V.A. correspondiente a ese presupuesto.

Concepto	Coste
Presupuesto de contrata	959,51
I.V.A.	201,5
Total	**1161,01 €**

Tabla 6: Presupuesto total

El presupuesto total asciende a **mil ciento sesenta y un euros con un céntimo.**

Firmado

Víctor Chacartegui García

BIBLIOGRAFÍA

REFERENCIAS

- [1] MOTORCYCLE HANDLING DESIGN: THE ART AND SCIENCE, Tony Foale (2006) ISBN 978-84-933286-3-4
- [2] Software MOTORCYCLE KINEMATICS VERSION 1.30
- [3] MOTORCYCLE DINAMICS, Vittore Cossalter (2006) ISBN 09720514-0-6
- [4] SUSPENSION KINEMATICS A QUICK GUIDE, Tony Foale (2004)
- [5] MOTORCYCLE SUSPENSION BIBLE, Paul Thede y Lee Parks (2010) ISBN 978-0-7603-3140-8
- [6] INGENIERÍA GRÁFICA Y DISEÑO, Jesús Felez y Luisa ISBN 978-84-975649-9-1
- [7] PRÁCTICAS CINEMÁTICA DE MÁQUINAS G735 G.I. MECÁNICA UC
- [8] APUNTES DINÁMICA DE MÁQUINAS G748 G.I. MECÁNICA UC
- [9] ELEMENTOS DE MÁQUINAS, K.H. Decker
- [10] Catálogo rodamientos SKF *www.skf.com/es/products/*
- [11] Software MSC.NASTRAN® *"NASTRAN ® 2008 help"*
- [12] Software MSC.PATRAN® *"PATRAN ® 2008 help"*
- [13] Software Working Model
- [14] REGLAMENTO DE LA COMPETICIÓN MOTOSTUDENT 2015-2016, Moto Engineer Foundation *www.motostudent.com/archivos/ReglamentoMS1516SP.pdf*
- [15] *http://motos.coches.net/*
- [16] Fuerzas y tensiones sobre la soldadura *https://www.e-zigurat.com*

- [17] Propiedades del aluminio 6082 T6

  http://www.alacermas.com/img/galeria/files/aluminio/chapa_6082_aluminio(1).pdf

- [18] Perfiles aluminio comerciales

  http://www.alu-stock.es/es/