



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación:

INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL MECÁNICO

Título del proyecto:

DISEÑO Y ESTUDIO DE MODIFICACIÓN DE CHASIS Y BASCULANTE DE UNA MOTOCICLETA

Asier Larrauri García

Tutor: Pedro María Villanueva Roldán

Pamplona, a 6 de Septiembre de 2012

*Nunca consideres el estudio como una
obligación, sino como una
oportunidad para penetrar en el bello
y maravilloso mundo del saber.*

Albert Einstein (1879-1955)

Agradecimientos,

*Este proyecto está dedicado a mi familia en general y en especial a mis
hijos Dylan, Naroa y Daniel y a mi mujer Camila, personas que siempre me
han apoyado y soportado en la finalización de los estudios.*



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

**“Diseño y estudio de modificación de
chasis y basculantes de una motocicleta”**

Asier Larrauri García

Tutor: Pedro María Villanueva Roldán

Pamplona, a 6 de septiembre de 2012

ÍNDICE GENERAL

1. OBJETO DEL PROYECTO	4
2. ANTECEDENTES.....	5
2.1 NECESIDAD DEL CLIENTE	5
2.2 DIAGRAMA GANTT DE PLANIFICACIÓN	7
2.3 NORMATIVA.....	8
3. INTRODUCCIÓN	10
3.1 HISTORIA DE LA MOTOCICLETA	10
3.2 TIPOS DE MOTOCICLETAS	12
3.3 PARTES DE UNA MOTOCICLETA.....	21
3.3.1 Motor	22
3.3.2 Bastidor	23
3.3.3 Suspensión	24
3.3.3.1 Suspensión Delantera.....	24
3.3.3.2 Suspensión Trasera	25
3.3.4 Frenos	25
3.3.5 Transmisión	29
3.3.5.1 Transmisión Primaria.....	29
3.3.5.2 Embrague	29
3.3.5.3 Caja de Velocidades.....	30
3.3.5.4 Transmisión Secundaria	31
3.3.6 Ruedas	32
3.3.6.1 Llantas	32
3.3.6.2 Neumático	33
4. CHASIS Y BASCULANTE.....	35
4.1 CHASIS	35
4.1.1 Tipos de chasis	35
4.1.2 Esfuerzos sobre el chasis	43
4.1.2.1 Frenada máxima en la rueda delantera	43
4.1.2.2 Paso por curva.....	44
4.2 BASCULANTE	46

4.2.1	Tipos	47
4.2.2	Esfuerzos sobre el basculante	47
5.	FÍSICA BÁSICA DE LA MOTOCICLETA	49
5.1	INTRODUCCIÓN	49
5.2	CONSIDERACIONES GEOMÉTRICAS	52
5.3	EFFECTO GIROSCÓPICO	57
5.3.1	Efecto Giroscópico debido al Viraje	58
5.3.2	Efecto Giroscópico debido al Balanceo.....	60
5.3.2.1	Efecto Giroscópico en el manillar.....	60
5.3.2.2	Efecto Giroscópico global sobre la motocicleta	61
5.3.3	Efecto Giroscópico debido al giro del manillar	62
5.4	MOMENTOS ANGULARES	63
5.5	REPARTO DE PESOS	65
6.	DISEÑO PRELIMINAR.....	67
6.1	METODOLOGÍA	67
6.2	PARÁMETROS A ESTUDIAR Y SIMPLIFICACIONES	69
6.3	ELECCIÓN DEL MATERIAL.....	71
6.3.1	Acero	72
6.3.2	Acero al cromo-molibdeno.....	73
6.3.3	Aluminio	73
6.3.4	Titanio	74
6.3.5	Fibra de carbono	75
6.3.6	Magnesio	77
7.	MODELADO DE COMPONENTES.....	78
7.1	SOFTWARE UTILIZADO	78
7.2	RESUMEN DE FUNCIONAMIENTO DE COMANDOS UTILIZADOS EN CATIA V5	80
7.2.1	Comandos generales	80
7.2.2	Módulo Sketcher	83
7.2.3	Módulo Part Design	88
7.3	PROCESO DE MODELADO	94
8.	ANÁLISIS Y SIMULACIÓN	108

8.1	MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS (MEF)	108
8.2	FUNCIONAMIENTO DEL SOFTWARE	110
8.3	MALLADO DEL MODELO.....	111
8.4	SIMULACIONES.....	112
8.4.1	Esfuerzos en frenada máxima en chasis	114
8.4.1.1	Chasis Inicial	115
8.4.1.2	Chasis Modificado	117
8.4.1.3	Análisis de Resultados.....	119
8.4.2	Esfuerzos en curva en chasis	119
8.4.2.1	Chasis Inicial	120
8.4.2.2	Chasis Modificado	122
8.4.2.3	Análisis de resultados.....	124
8.4.3	Esfuerzos en basculante.....	125
8.4.3.1	Basculante Inicial.....	126
8.4.3.2	Basculante Modificado.....	128
8.4.3.3	Análisis de Resultados.....	130
8.4.4	Esfuerzo del monoamortiguador a la pipa de dirección	130
8.4.4.1	Análisis de Resultados.....	133
9.	CONCLUSIONES	134
10.	CÁLCULOS.....	136
10.1	FUERZA EN FRENADA MÁXIMA EN RUEDA DELANTERA.....	136
10.2	FUERZA LATERAL EN PASO POR CURVA	137
10.3	FUERZA LATERAL EN EL BASCULANTE.....	138
10.4	ESFUERZO QUE REALIZA EL NUEVO AMORTIGUADOR SOBRE EL CHASIS	138
11.	PRESUPUESTO	140
12.	BIBLIOGRAFÍA.....	141
13.	ÍNDICE DE FIGURAS	144
14.	PLANOS.....	149

1. OBJETO DEL PROYECTO

El objetivo de este proyecto es realizar una modificación de un bastidor de motocicleta. Un supuesto cliente tiene una motocicleta de calle modelo Yamaha SR250 de 1989 y quiere transformarla para conseguir una moto de campo tipo Scrambler, es decir, una moto de monte pero que se pueda emplear en carretera con ciertas garantías, lo que llaman Dual Purpose o Mixta. Para ello hay que modificar ciertas partes de la motocicleta y comprobar no solo que funcionan sino que cumplen con la normativa vigente para su homologación.

Actualmente la normativa en cuanto a reformas de importancia en vehículos exige una serie de requerimientos para que un vehículo modificado se pueda homologar. Entre ellos figura la realización de un proyecto por parte de un ingeniero demostrando que la modificación mantiene los valores de rigidez, fatiga, vibraciones, etc. que se le exigen a un vehículo de esas características.

Este proyecto se centrará en el diseño y estudio del chasis y basculante de la motocicleta justificando qué cambios hay que hacer. Para ello se tomarán las medidas de la moto original y se procederá al modelado del chasis y basculante utilizando el programa CATIA V5. Posteriormente se realizarán las simulaciones apropiadas aplicando las condiciones de contorno que sean necesarias mediante el Módulo de Análisis y Simulación de CATIA V5.

De la parte de taller y de la homologación de otros componentes de la motocicleta no se tratará en este proyecto.



Figura 1. Motocicleta SR 250 (1989)

2. ANTECEDENTES

2.1 NECESIDAD DEL CLIENTE

La idea de realizar este proyecto surge de la necesidad de un ex compañero de carrera de nombre David Azpiroz de querer transformar una vieja moto de carretera Yamaha SR250 en otro tipo de moto que sirva para circular también por el campo. Para ello hay que realizar una serie de modificaciones en el chasis y el basculante de la moto. Actualmente para que una reforma de este tipo sea homologable hace falta la realización de un Proyecto Técnico.



Figura 2. *Motocicleta del cliente*

El tipo de modificación a realizar consistirá en sustituir el sistema de suspensión trasera con basculante y doble amortiguador de la Yamaha SR250 en uno de tipo monoamortiguador que le permita tener mayor recorrido a la suspensión.

Los sistemas de doble amortiguación han sido hasta hace poco los más empleados. Sus principales ventajas son la facilidad de colocación, su economía y su sencillez de diseño y mantenimiento. Pero en motocicletas que requieren grandes recorridos de la rueda y un funcionamiento progresivo del tren posterior se recurre a sistemas monoamortiguador.

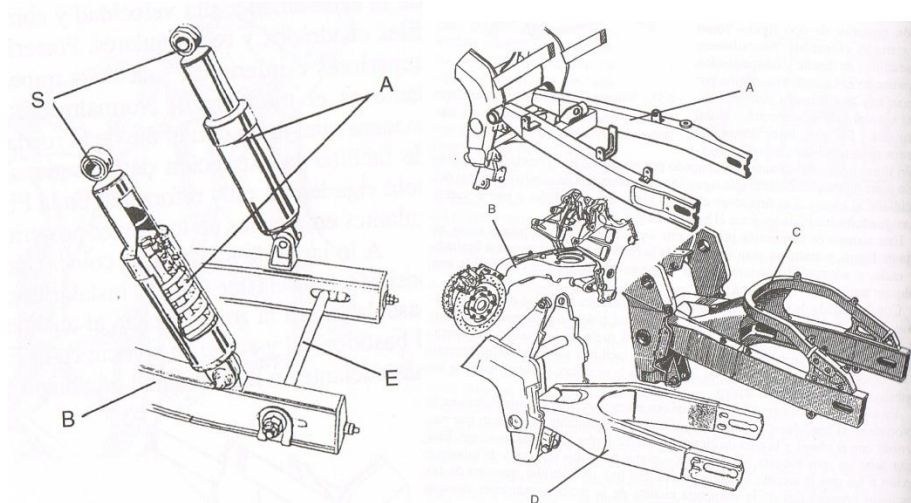


Figura 3. *Sistemas de doble y mono amortiguación*

En nuestro caso se escoge un sistema cantiléver sin progresividad. El amortiguador se ancla sobre una triangulación del basculante, de manera que su posición no es vertical como en el otro sistema sino que se encuentra prácticamente horizontal en la parte superior del bastidor. Es posible ajustar en recorrido del amortiguador.



Figura 4. *Sistema cantiléver*

2.2 DIAGRAMA GANTT DE PLANIFICACIÓN

Para llevar a cabo el proyecto se ha pensado en una duración temporal de 3 meses, dependiendo de la disponibilidad de David Azpiroz para desmontar la motocicleta de partida y poder tener el chasis y el basculante separados para realizar la toma de datos y el posterior modelado.

Las etapas en las que se dividirá son ocho:

1. Definición del problema que se nos presenta y búsqueda de posibles soluciones
2. Repaso de conceptos mecánicos relacionados con el proyecto a abordar
3. Repaso y aprendizaje de nuevos módulos para realizar la simulación en CATIAV5
4. Búsqueda de información y normativa al respecto
5. Toma de medidas del modelo original
6. Modelado y simulación de la motocicleta original y de su modificación
7. Análisis de los resultados obtenidos y modificaciones oportunas
8. Elaboración escrita del proyecto completo

ETAPA	SEMANA															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Definición																
Repaso Mecánica																
Aprendizaje CATIA V5																
Información y Normativa																
Medidas																
Modelado																
Análisis																
Escritura																

2.3 NORMATIVA

Según el nuevo Manual de Reformas en Vehículos emitido por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio en Abril de 2011 que tiene su fundamento en la Directiva 2007/46/CE del Parlamento Europeo y del Consejo y en el Real Decreto 866/2010 de 2 de Julio sobre Reformas de Importancia entre otros, se establece que para realizar una reforma de importancia en un vehículo hace falta lo siguiente:

- Proyecto Técnico emitido por un técnico competente identificando el tipo de vehículo y las reformas realizadas. El contenido mínimo del proyecto deberá incluir entre otros los siguientes puntos:
 - o Datos que identifiquen al vehículo
 - o Identificación de acuerdo con el RD 866/2010 de la reforma a realizar
 - o Características del vehículo antes de la reforma
 - o Características del vehículo después de la reforma
 - o Descripción de la reforma
 - o Cálculos justificativos. Análisis de esfuerzos sobre el bastidor y resistencia del mismo.
 - o Planos
- Certificado de taller donde se realizará la reforma
- Certificado de dirección final de obra realizado por un servicio técnico

Por lo tanto según el punto 8 del Anexo I del RD 866/2010 la modificación de la carrocería se considera una reforma de importancia. La motocicleta sobre la que se realizará la modificación es un vehículo de tipo L3e por lo que en la sección II Grupo 8.51 del Manual de Reformas en Vehículos (Modificaciones que afecten a la carrocería de un vehículo) se estipula nuevamente la necesidad de la realización de un Proyecto Técnico.

El resumen de normativa que afecta a las reformas en vehículos es el siguiente:

- *Directiva 2007/46/CE del Parlamento europeo y del Consejo, de 5 de Septiembre de 2007*
- *Real Decreto 866/2010, de 2 de Julio*
- *Manual de Procedimiento de Inspección de las estaciones I.T.V.*
- *Orden ITC/3124/2010, de 26 de noviembre*
- *Reglamento (UE) Nº 371/2010 de la Comisión de 16 de abril de 2010 que sustituye los anexos V, X, XV y XVI de la Directiva 2007/46/CE del Parlamento Europeo y del Consejo*

- *Real Decreto 750/2010, de 4 de junio*
- *Real Decreto 2822/1998, de 23 de Diciembre*
- *Real Decreto 2028/1986, de 6 de Junio*

3. INTRODUCCIÓN

3.1 HISTORIA DE LA MOTOCICLETA

La motocicleta es uno de los principales vehículos automóviles empleados en la actualidad. Su historia se remonta a finales del siglo XIX cuando en 1869 dos fabricantes de bicicletas franceses, Ernest y Pierre Michaux colocaron una pequeña máquina de vapor debajo del asiento de una bicicleta para que accionara la rueda trasera mediante dos correas de cuero. Al mismo tiempo en Estados Unidos el fabricante de máquinas de vapor Sylvester Roper inventó una máquina de vapor de dos cilindros con un encendido a base de carbón de leña.

Por aquel entonces Nikolaus August Otto había desarrollado en su fábrica de motores de gas el primer motor de combustión. Dos años más tarde patentó el sistema de cuatro tiempos. Al ingeniero de Otto, Gottlieb Daimler, le gustó el invento y junto a Wilhelm Maybach fundó su propia fábrica de motores de combustión. En 1885 construyeron lo que se considera la primera motocicleta de la historia. Esta motocicleta, construida con un bastidor y unas ruedas de madera, era más una forma de probar su nuevo motor de combustión que una motocicleta en sí.

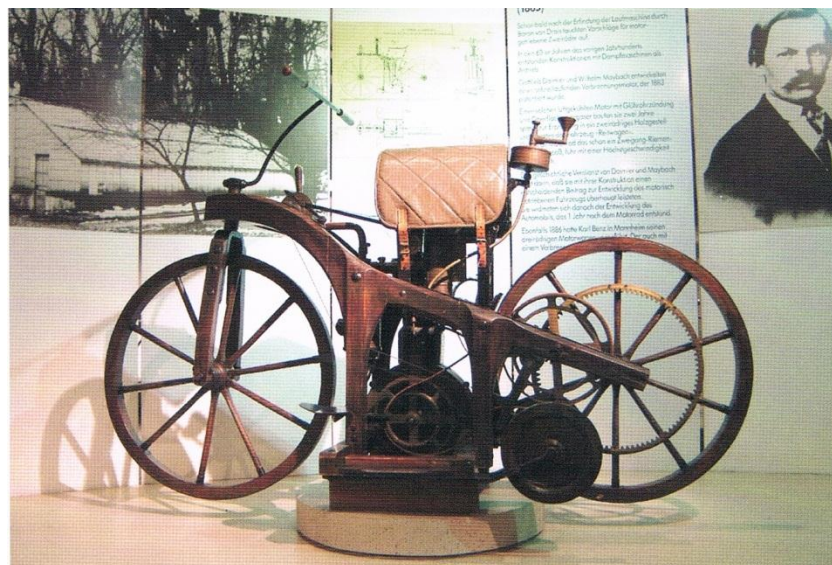


Figura 5. "Vehículo de montar", Daimler (1885)

En 1902 Robert Bosh descubrió el encendido por magneto de alta tensión con bujía, consiguiendo controlar mejor el encendido de las motocicletas.

En los últimos años del siglo XIX y principios del XX muchas empresas empezaron a producir vehículos motorizados de dos ruedas. Pero fueron los hermanos Werner quienes plasmaron la tipología de moto que se mantiene hoy en día. Su motocicleta disponía de un bastidor tubular, muy similar al de una bicicleta, en el cual el motor se alojaba en la parte central de la moto. La dirección se encomendaba a una horquilla y el depósito de gasolina ocupaba un lugar central delante del asiento del piloto, que se situaba sobre el conjunto, manejando la moto a través de un manillar que incluía los principales mandos.



Figura 6. *Motocicleta Hildebrand-Wolfmüller (1894)*

3.2 TIPOS DE MOTOCICLETAS

El mercado de la motocicleta está estructurado claramente en varios segmentos que identifican las distintas utilidades de estos vehículos. Mientras en otros periodos históricos los vehículos automóviles en general estaban dirigidos a cubrir las necesidades de transporte de la población, en estos momentos algunos de ellos son artículos de ocio.

SPORT

Una motocicleta sport o deportiva es una motocicleta de altas prestaciones destinada al uso en la vía pública con características de conducción más agresivas que las de una motocicleta de turismo

Su estética trata de imitar a las motos de competición de velocidad, adoptando carenados en los que se favorece la penetración aerodinámica a cambio de la disminución de la protección del piloto. La posición de conducción de estas motocicletas es usualmente muy agresiva obligando al cuerpo a estar muy adelantado. Se trata de motos muy potentes, en las que sus motores se diseñan para obtener de ellos las máximas prestaciones, en detrimento de su comportamiento a bajos y medios regímenes. Habitualmente son las motos de calle con mejor relación peso/potencia. Esto se consigue con motores de alta cilindrada y materiales ligeros.



Figura 7. Suzuki GSXR600

TURISMO

Es un tipo de motocicleta diseñado específicamente para realizar largos viajes. Tienen motores de media cilindrada, una posición de conducción erguida, parabrisas y tanque de combustible grandes, y suelen llevar maletas a los lados en la parte trasera.



Figura 8. BMW R1200 RT

GRAN TURISMO

Son motocicletas dotadas de amplios carenados, con los que se ofrece una gran protección a los ocupantes, dado que están pensadas para circular con pasajero. Dado su alto peso, disponen de motores de alta cilindrada, con gran cantidad de par a bajo y medio régimen, por lo que su nivel de prestaciones es inferior a lo que se podría deducir de su cilindrada.



Figura 9. Honda Gold Wing GL 1800

NAKED

Estas motos están desprovistas de cualquier tipo de carenado por lo que gran parte de su mecánica está a la vista. Se comenzó a utilizar esta denominación con una nueva generación de motocicletas, posterior a la implantación masiva del carenado, en la que se pretende ofrecer una imagen retro tal y como eran las motos hasta entonces.



Figura 10. *Kawasaki Z1000*

Dentro de este segmento se encuentran también diferentes tipos de motocicletas naked:

ROADSTER: naked de gran cilindrada y ligeramente protegida del viento para efectuar trayectos largos.



Figura 11. *Honda EVO6 Roadster*

STREETFIGHTER: naked de gran potencia y aptitudes más deportivas que una naked normal.



Figura 12. Suzuki StreetFighter

SCRAMBLER: naked de estética clásica con ruedas adaptadas a tierra y de gran robustez. Su base es una moto de calle que se modifica para poder montar campo a través. Las características principales de estas motos Scrambler consisten en colocar unos tubos de escape por la parte superior para así facilitar el cruce de arroyos o caminos fangosos, sustituir el manillar por uno más ancho con una barra transversal para mayor resistencia y neumáticos todo terreno.



Figura 13. Modificación tipo Scrambler de una Honda VT 750

CUSTOM

El término custom proviene originalmente del inglés *to customize*, que se refiere a la personalización de algo que fue creado en serie de forma industrial e impersonal. En este caso define un tipo de motocicleta que ofrece la posibilidad de personalización y modificación de acuerdo a los gustos de su dueño. Las custom aparecieron como tales en cuanto se popularizó la modificación por parte de los usuarios de sus motocicletas (principalmente de marcas como Harley-Davidson e Indian) tras la finalización de la segunda guerra mundial.

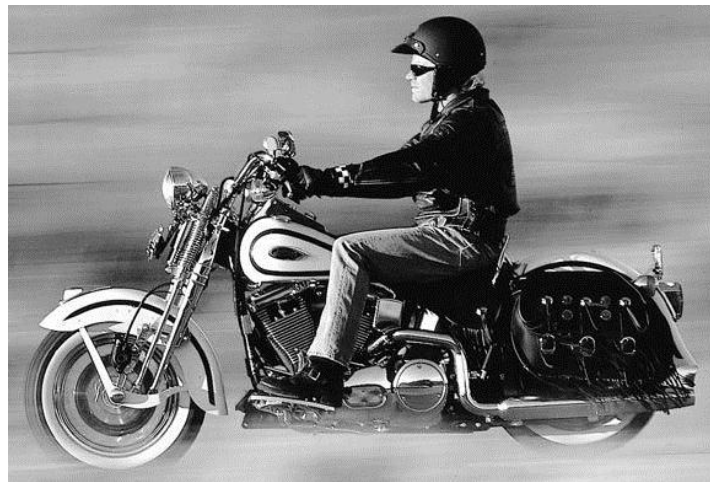


Figura 14. Harley-Davidson Springer

CHOPPER

Una chopper es un tipo de motocicleta modificada que carece de elementos innecesarios. Puede estar basada en una motocicleta de serie o ser creada desde cero. Con respecto a las motocicletas tradicionales, las chopper suelen ser más livianas, tienen tanques de combustible más pequeños y sus parabrisas, luces, guardabarros y asientos son más pequeños o directamente fueron quitados.



Figura 15. Motocicleta estilo chopper

TRAIL

En la actualidad son modelos de carretera con ciertas aptitudes para circular por caminos y sendas forestales de escasa dificultad. Para ello, cuentan con suspensiones de gran recorrido y rueda delantera de mayor diámetro, en ambos casos respecto a los modelos de carretera. Son motos muy prácticas con grandes cualidades turísticas dada su posición de conducción.



Figura 16. *Honda Africa Twin 750*

CROSS

Este tipo de motocicletas están diseñadas para hacer motocross. Tienen las suspensiones con más recorrido que otro tipo de motocicletas y se aplica toda la potencia para sacarle la mayor aceleración posible ya que no hace falta que tengan mucha velocidad. Son motocicletas que no están homologadas para circular por las calles ya que carecen de faros y matrícula.



Figura 17. *Suzuki DR Z125*

ENDURO

La disciplina de enduro deriva del motocross y el trial. La parte ciclo de una moto de enduro es similar a la de cross, con modificaciones en suspensiones, caja de cambios y encendido con salida de luces. Las enduro son motocicletas homologadas para su uso urbano y se pueden matricular.



Figura 18. *Kawasaki KLX 300 R*

TRIAL

El trial es una modalidad deportiva sobre ruedas (con o sin motor) donde se trata de superar diferentes obstáculos delimitados en una trazada concreta dentro de una zona señalizada. Los pilotos deben superar obstáculos sin tocar el suelo con el cuerpo ni caerse. Las motos de trial entregan su máxima potencia a bajas y medias revoluciones, que son necesarias para afrontar los distintos obstáculos tales como subidas pedregosas, escalones de rocas, troncos...

Comparadas con las motocicletas de motocross y enduro, las de trial son las más livianas, careciendo de asiento y utilizando los neumáticos más desinflados. El recorrido de la suspensión también es más corto.



Figura 19. *Honda Montesa Cota 4RT*

SUPERMOTARD

El supermotard es una fusión entre el motociclismo de velocidad y el motocross. Las carreras tienen lugar en pistas con secciones todoterreno dentro del mismo circuito, normalmente con algún salto pequeño a alta velocidad. Las motocicletas son frecuentemente creaciones hechas a partir de motos todoterreno con ruedas para asfalto como las de una motocicleta deportiva.



Figura 20. KTM 990 Supermotard

CICLOMOTOR

Constituyen la mayor parte de la producción de motocicletas, aunque la legislación no las considere como tales. Su cilindrada está limitada a 50 c.c. y su velocidad máxima a 60 km/h. En esta categoría se pueden encontrar desde *scooters* hasta motos *naked*, deportivas, de campo, etc. Deben su éxito a su bajo precio y a la posibilidad de conducirlos simplemente con una licencia desde los 14 años.



Figura 21. Ciclomotor Aprilia

SCOOTER

Un scooter es un tipo de vehículo motorizado de dos ruedas con un cuadro abierto en el que el conductor se sienta sin montar a horcajadas sobre parte alguna del motor. La mayoría de los scooters modernos tienen ruedas más pequeñas que las motocicletas.

En contraste con la mayoría de las motocicletas, las scooters suelen tener carrocería, incluyendo una protección frontal para las piernas y un cuerpo que oculta toda o la mayor parte de la mecánica. El diseño clásico presenta un suelo plano para los pies del conductor y a menudo incluye algún hueco de almacenaje integrado.

Hasta ahora, sus prestaciones eran modesta, dada la escasa cilindrada de sus propulsores, si bien recientemente, han aparecido modelos con propulsores de hasta 650 c.c., con lo que se aumentan sus posibilidades de uso



Figura 22. Motocicleta Scooter

3.3 PARTES DE UNA MOTOCICLETA

A continuación se realizará una breve descripción de los principales elementos que componen una motocicleta para tener una visión general de la influencia de cada uno.



Figura 23. Partes de una motocicleta (Vista lateral)



Figura 24. Partes de una motocicleta (Vista superior)

3.3.1 MOTOR

El motor es el encargado de generar el par necesario para acelerar la motocicleta. Suelen usarse motores de combustión interna de dos o cuatro tiempos. El motor de cuatro tiempos compite en las pequeñas cilindradas con el motor de dos tiempos que le aventaja en simplicidad y ligereza, y en las grandes con su variante Diesel, que lo hace en economía. La cilindrada depende del modelo de motocicleta en cuestión. Dejando a un lado consideraciones sobre la suavidad y regularidad de marcha o arranque, se puede afirmar que, salvo excepciones, siempre que se ha aumentado el número de cilindros ha sido en busca de mayor potencia. Esto es así, porque en cualquier motor sólo existen dos maneras de incrementarla con facilidad, que son aumentar la cilindrada, o elevar el régimen de funcionamiento.

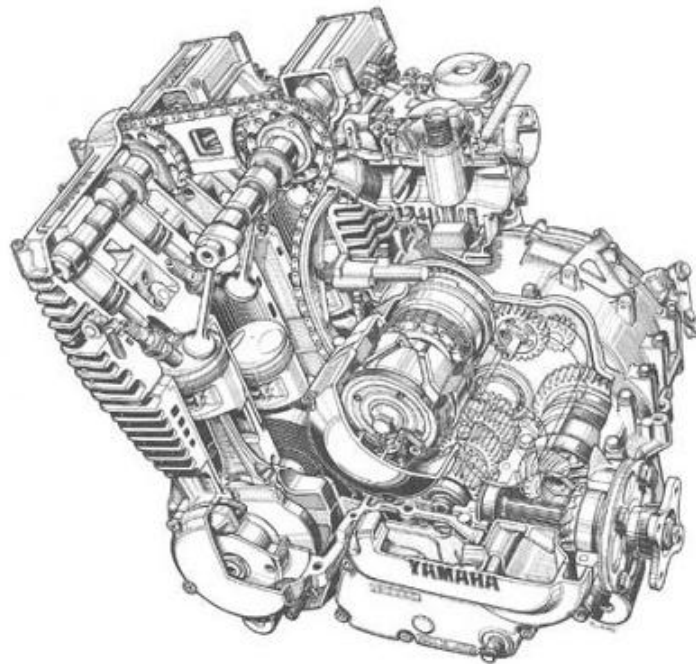


Figura 25. Motor de motocicleta

El motor, en muchos casos, tiene también una función estructural, ayudando así al chasis a soportar los diferentes esfuerzos. La refrigeración del motor puede ser mediante aire o agua.

3.3.2 BASTIDOR

El bastidor está formado por todo aquello que no es el motor: chasis, basculante, suspensiones, carrocería, ruedas, frenos y elementos accesorios.

Las funciones del bastidor de una motocicleta son básicamente dos: estática y dinámica. En sentido estático el bastidor tiene que soportar el peso del piloto, el motor y la transmisión y necesariamente los accesorios como el depósito de gasolina, aceite, etc.

Aunque menos obvio, la función dinámica del bastidor es importante. En conjunto con el resto de elementos del chasis (suspensión, ruedas...) aporta precisión en la conducción, manejo y confort. Para un manejo preciso el bastidor debe resistir suficientemente la torsión y flexión para mantener las ruedas en una posición apropiada que le permita soportar la fuerza de la transmisión, baches, frenado etc.

Se entiende que el bastidor es apropiado si el eje de conducción se mantiene en el mismo plano que la rueda trasera con el fin de mantener el diseño de la geometría en todas las condiciones sin interferencia de la distorsión del bastidor.

Sin embargo los sistemas de conducción no pueden ser efectivos si las ruedas no están en contacto con el suelo, poniendo de manifiesto la importancia de una buena suspensión, especialmente la delantera.

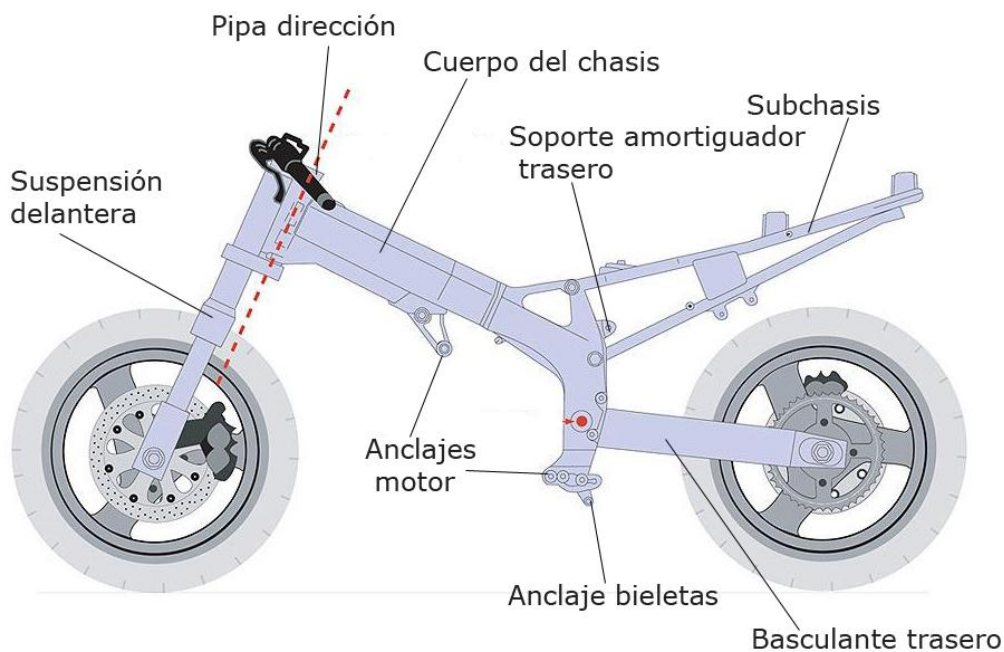


Figura 26. Partes del bastidor

3.3.3 SUSPENSIÓN

Las motocicletas necesitan incorporar en su estructura unos anclajes elásticos entre la estructura principal y el terreno. La razón es bien sencilla; como el piso por el que transitan no es completamente liso, se producen constantes elevaciones y hundimientos del conjunto. Esto no plantea excesivos problemas a baja velocidad, pero si ésta aumenta, se llega a un punto en el que la moto salta sobre el terreno por efecto de la inercia, perdiendo contacto con el suelo, y, por tanto, capacidad de maniobra. Además, los constantes saltos causan incomodidad al piloto y los pasajeros, que se ven continuamente sacudidos sobre el vehículo.

Para evitar estos efectos, se intercala algún mecanismo entre las ruedas, que deben estar en contacto firme con el suelo y el resto del bastidor. Estos mecanismos forman el conjunto de lo que se denomina "suspensión", al mantener en este estado la gran mayoría de la motocicleta.

3.3.3.1 SUSPENSIÓN DELANTERA

El sistema de suspensión más empleado, y prácticamente universal, es la horquilla telescópica.

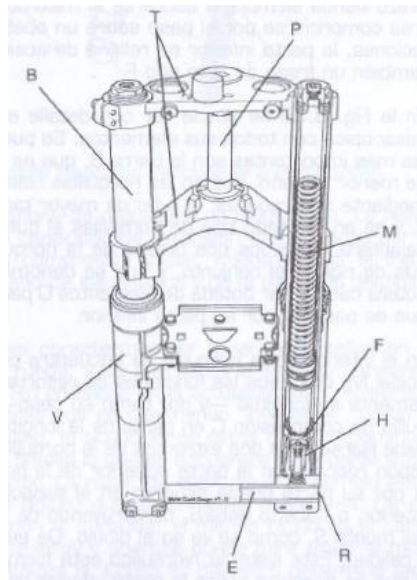


Figura 27. Horquilla telescópica

En la figura superior se ilustra una horquilla telescópica en un sistema muy simple, la horquilla está formada por dos brazos B que unen la pipa de dirección P a la rueda R, ansiándose respectivamente en las tijas T y en el eje de la rueda delantera E. Cada brazo está formado por dos tubos B y Y, uno de mayor diámetro que el otro, y situados concéntricamente, de

manera que uno de ellos puede introducirse en el interior del otro, variando la distancia existente entre el eje y las tijas.

El sistema empleado para que el mecanismo realice tareas de suspensión es introducir un muelle M en su interior, de modo que cada brazo tienda siempre a estirarse al máximo, y a volver a esta posición tras comprimirse por el paso sobre un obstáculo. Para frenar las oscilaciones, la parte inferior se rellena de aceite hidráulico H, y se instala también un freno F.

Las horquillas típicas se caracterizan por tener las botellas en la parte inferior y las barras en la superior. Sin embargo en la actualidad han proliferado de manera espectacular otras que se denominan "invertidas", en este caso, la situación de estos dos componentes cambia. La razón de efectuar este cambio viene dado por el aumento de la rigidez que experimenta el sistema.

3.3.3.2 SUSPENSIÓN TRASERA

La suspensión trasera une el chasis con el basculante, y su principal finalidad es la de mantener la rueda trasera en el suelo, para poder aplicar tanto el par motor, como el par de frenada.

Tradicionalmente se utilizaban dos amortiguadores para conectar el chasis y el basculante, pero hoy en día el método más utilizado es el sistema de monoamortiguador. El sistema consta de un único elemento resorte-amortiguador conectado entre el chasis y el basculante. Se encuentra formado por el cuerpo y el vástago. El cuerpo realiza una función parecida a las de las botellas en la suspensión delantera, por lo que se trata de la parte con mayor anchura del amortiguador. Contiene además elementos de absorción y amortiguamiento como en el caso de la horquilla.

3.3.4 FRENOS

La capacidad de detención del vehículo es imprescindible, hasta el punto de que una motocicleta jamás debe alcanzar una velocidad superior a la que le permitan sus frenos. La energía cinética que posee el vehículo, debido a su masa y a su velocidad, se transforma en energía calorífica, surgida del rozamiento de los elementos de fricción (que no giran) con las correspondientes superficies móviles, solidarias a las ruedas. Es importante conocer este principio, ya que la eficacia de frenado se mantiene, sólo si existe una eficaz disipación del calor generado.

Los frenos más usados son los frenos de tambor y de disco, aunque en la actualidad los sistemas tambor han quedado relegados a vehículos económicos. La frenada de los tambores depende de varios factores. En primer lugar, de la superficie de fricción, que viene dada por la anchura de la zapata y el diámetro del tambor, en segundo lugar, por el coeficiente de fricción entre la zapata y el metal del tambor, y en tercer lugar, por la presión a que se sometan los dos.

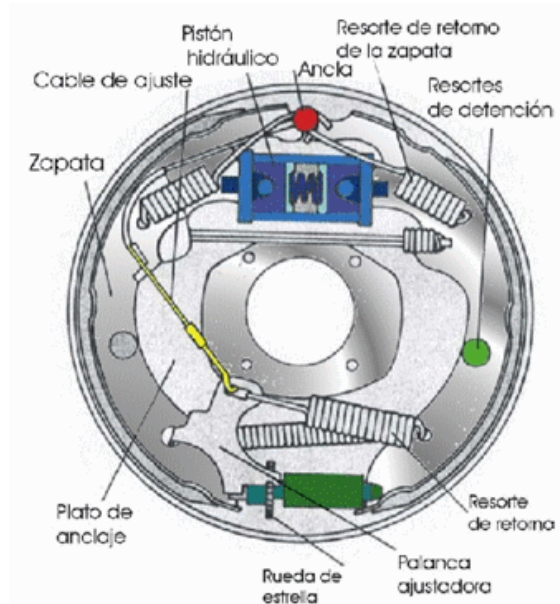


Figura 28. Partes de un freno de tambor

Los frenos de disco, al contrario que los de tambor, tienen un accionamiento totalmente externo, lo que redonda en la mejora de uno de los principales problemas de los sistemas anteriores, el sobrecalentamiento y la pérdida de rendimiento consiguiente.

El freno de disco está formado por un disco metálico anclado a la rueda, alrededor del cual se coloca un elemento denominado "pinza de freno". En el interior de ésta se encuentran dos pastillas, dotadas de un forro de fricción en la cara que toca con el disco de freno. Las pastillas son empujadas por la acción de unos cilindros metálicos denominados "pistones", que a su vez son accionados por un sistema hidráulico o un cable en contadas ocasiones. Si el sistema es hidráulico, el circuito interior dispone de un conducto hacia el exterior, regulado con una válvula formada por un tornillo hueco para permitir el purgado del circuito.

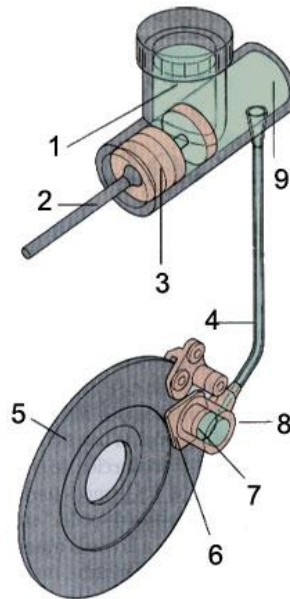


Figura 29. Sistema de freno de disco

Una variedad en los discos de freno es el anclaje flotante. Normalmente los discos se sujetan de forma fija a la rueda, pero esto puede ocasionar algunos problemas. Si el disco está un poco doblado, con su roce se producirá un roce con las pastillas, que tenderá a separarlas del disco, al tiempo que provoca un cierto esfuerzo en la frenada. Si el disco tiene una cierta libertad de desplazamiento en el sentido de su eje, podrá moverse eliminando el problema. Para conseguir esto la superficie de rozamiento del disco se instala independiente del anclaje sobre la llanta.



Figura 30. Disco flotante

En frenos de disco, la última tendencia son discos lobulados, que no son más que frenos de disco con una especial configuración para favorecer la disipación del calor y disminuir el peso.

Al contrario de cómo ocurre en los coches, el freno delantero y trasero de las motocicletas se accionan independientemente. Aunque en la actualidad se está trabajando para desarrollar un sistema de frenado eficaz y seguro con un solo accionador.

El freno delantero es el que mayor importancia tiene a la hora de enfrentarnos a una deceleración fuerte, debido a la transferencia de carga a la rueda delantera. Alrededor de un 70% del esfuerzo de frenada es realizado por él. Por ello las motos deportivas suelen contar con dos frenos de disco ubicados en la rueda delantera y además de mayor diámetro que la rueda trasera. El freno delantero es activado mediante la maneta derecha del manillar.



Figura 31. Freno delantero

El freno trasero debido a la transferencia de pesos tiene menos importancia en la deceleración. Por ello suele utilizarse un sistema de disco más pequeño y de menos potencia que el delantero. Este, se acciona mediante el pie derecho.



Figura 32. Freno trasero

3.3.5 TRANSMISIÓN

Para que el movimiento generado en el motor llegue hasta la rueda trasera, se requiere la utilización de diversos mecanismos en serie que forman un conjunto cuya denominación usual es la de transmisión o, más técnicamente, "cadena cinemática". El sistema de transmisión puede dividirse en dos etapas: la transmisión primaria y la transmisión secundaria.

3.3.5.1 TRANSMISIÓN PRIMARIA

Los elementos que se encargan de comunicar el movimiento del cigüeñal al embrague, reciben el nombre de transmisión primaria. Esta primera etapa en la transmisión suele estar dotada de una primera desmultiplicación, disminuyendo la velocidad de giro del eje al que se transmite el movimiento respecto del original. Los dos métodos más comunes para realizar la transmisión primaria son la cadena y los engranajes. La tendencia más habitual en la actualidad es la transmisión por engranajes que anula el posible mantenimiento y reduce el tamaño del motor.

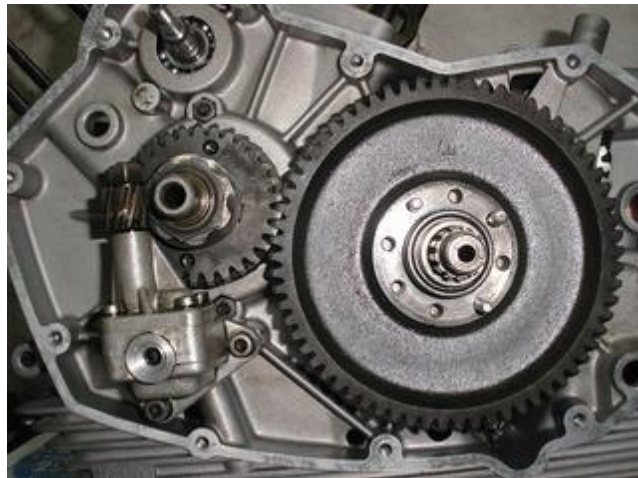


Figura 33. Transmisión Primaria

3.3.5.2 EMBRAGUE

La misión del embrague es conectar o desconectar la transmisión del movimiento desde el motor a la rueda, a voluntad del conductor de la motocicleta. La desconexión es necesaria al iniciar la marcha y cada vez que se utiliza el cambio. Suele ir situado entre la transmisión primaria y el eje primario del cambio, aunque puede ir directamente entre el cigüeñal y el primario, como sucede siempre que es de tipo monodisco, o después del variador (cambio automático) en otros casos.

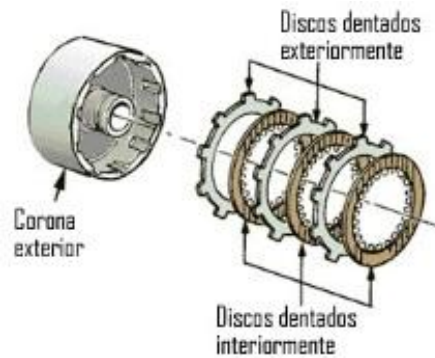


Figura 34. Embrague

3.3.5.3 CAJA DE VELOCIDADES

Es imprescindible tener un dispositivo mecánico que llamaremos caja de velocidades que facilite el funcionamiento del motor en el intervalo de velocidad estable comprendido entre los regímenes de par y de potencia máximos. Mediante éste es posible obtener diversas velocidades angulares de giro del eje secundario para una misma del primario, o, lo que es lo mismo, distintos pares de salida para un mismo par de entrada.

En cuanto al número de relaciones, oscila entre las cuatro de algunas *custom*, y las siete de alguna deportiva, siendo las más empleadas las de cinco relaciones en motos turísticas y las de seis en motos deportivas, si bien esto no supone ninguna regla.

En cualquier caso, la desmultiplicación de una marcha viene dada por el número de dientes que poseen los engranajes que la componen. Así, se determina la llamada "relación de transmisión", la cual es el cociente entre el número de dientes del piñón conducido (el situado en el secundario) y el número de dientes del piñón conductor (dispuesto en el primario).

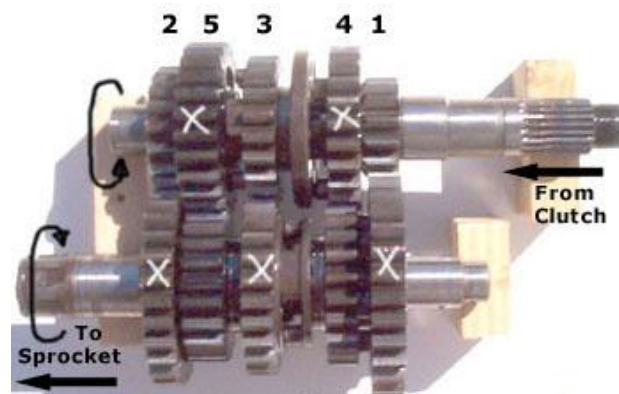


Figura 35. Caja de Velocidades

3.3.5.4 TRANSMISIÓN SECUNDARIA

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



Figura 36. Transmisión secundaria por cadena, correa y cardan

3.3.6 RUEDAS

Las motocicletas se mueven mediante el giro de sus ruedas sobre el terreno. Todos los elementos que componen el resto de la motocicleta están encaminados o bien a mantener al piloto sobre el vehículo, o a posibilitar que estas dos ruedas se mantengan en movimiento y en continuo contacto con el suelo.

Las ruedas se componen de dos elementos, las llantas y los neumáticos, aunque en la mayoría de las ocasiones llevan anclados a ellas otros elementos como los frenos, elementos de transmisión o sistemas de medición.

La llanta es la parte rígida de la rueda, que se une al sistema de suspensión de modo fijo, mientras que el neumático es el elemento en contacto con el terreno, que posee características elásticas y dispone de una cierta capacidad de deformación, para adaptarse a las superficies por donde transita la moto.

3.3.6.1 LLANTAS

Desde hace un par de décadas se han sustituido las llantas de radios por llantas de aleación ligera en las motocicletas de carretera, que, con altas velocidades, necesitan la mínima masa no suspendida posible y una rigidez mayor por los esfuerzo que deben soportar.



Figura 37. Llantas de radios y aleación

Las llantas de aleación ligera suelen estar formadas por una pieza única, por dos e incluso tres, aunque la solución más habitual es la primera. Los grupos de múltiples radios se sustituyen por varios radios de gran resistencia que pueden variar desde un mínimo de tres radios hasta un máximo de siete.

3.3.6.2 NEUMÁTICO

Los neumáticos son los elementos de contacto con el suelo. Son por tanto los encargados en último término de mantener la motocicleta en la dirección adecuada tanto durante la trayectoria recta como en la de las curvas.

Los neumáticos están formados por una banda de caucho que se calza sobre el arco de la llanta. La sección del neumático se divide en varias zonas bien diferenciadas. La parte del neumático en contacto con el suelo se denomina "banda de rodadura", la que se encarga de apoyarse en la llanta. A se denomina "talón", mientras que la superficie lateral que une la banda de rodadura con el talón recibe el nombre de "flanco" u "hombro".



Figura 38. Capas de un neumático

Interiormente el neumático está compuesto por una funda exterior de goma que forma la banda de rodadura y la cubierta del flanco y el talón. Este material debe tener un cierto espesor en la zona en contacto con el suelo, ya que el uso provoca un cierto desgaste. La banda de rodadura normalmente no es lisa, sino que dispone de unos ciertos canales que se

emplean para evacuar el agua en caso de necesidad. Algunos tipos de neumáticos empleados para conducción deportiva y únicamente sobre asfalto seco no disponen de estos canales, normalmente conocidos como "dibujo de la rueda" y se denominan "slicks".

La banda de rodadura no dispone, por el tipo de material empleado, de la suficiente consistencia, por lo que necesita una estructura interna que se la confiera. Este esqueleto se llama carcasa y está formado por una serie de lonas, realizadas con diferentes materiales, que abrazan por completo la superficie del neumático.

Se puede distinguir básicamente dos tipos de neumáticos según su carcasa: los neumáticos diagonales y los neumáticos radiales. Los primeros tienen sus lonas dispuestas de manera oblicua al sentido de la marcha y disponen de varias que se encuentran situadas de manera que los hilos que las componen se cruzan. Tiene problemas a alta velocidad, sobre todo de desgaste, ya que las diferentes lonas rozan entre si cuando el neumático se deforma. Se ha evolucionado hacia la carcasa de tipo radial, que dispone únicamente de una lona y orientada de manera especial, ya que sus hilos se encuentran perpendiculares al sentido de la marcha. Esto permite que con una sola lona se complete la estructura de la carcasa, eliminando peso, y también las fricciones entre las diferentes capas que provocaba parte del calentamiento.

4. CHASIS Y BASCULANTE

En este capítulo se abordarán en profundidad los elementos de la motocicleta objeto de estudio de este proyecto, el chasis y el basculante. Se estudiarán los diferentes tipos que hay y las fuerzas que se ejercen sobre ellos.

4.1 CHASIS

El chasis es el elemento principal de la motocicleta estructuralmente hablando que une mediante la pipa o cabezal de dirección el conjunto delantero (la rueda delantera) con el basculante (rueda trasera) y soporta todos los elementos mecánicos, manteniendo la geometría y el reparto de pesos con una rigidez adecuada. El cabezal de dirección y la zona del anclaje del basculante son las zonas que mayores esfuerzos sufren por lo que son las zonas más reforzadas del chasis.

En un chasis todos sus elementos, a excepción de las suspensiones y las piezas unidas a ellas, están perfectamente fijados. Como consecuencia el chasis define una serie de características estructurales que además influyen sobre el comportamiento de la motocicleta. Son por una parte las que definen la geometría de la moto, y por otra las que condicionan el reparto de pesos.

Los materiales utilizados en la construcción del chasis son básicamente dos, el acero y el aluminio, aunque en ocasiones excepcionales se usan otros materiales más exclusivos y costosos como el magnesio. La elección del material obedece simplemente a condiciones de deportividad y sobre todo de precio final.

4.1.1 TIPOS DE CHASIS

DE CICLOMOTOR

Son chasis de acero formados por un tubo grueso que no forma una figura geométrica cerrada, combinado con chapa estampada (con relieves obtenidos por golpe de prensa hidráulica). Se busca la funcionalidad, espacios para la comodidad del conductor y fácil acceso. No se logra una postura aerodinámica y las piernas no van a horcajadas.

MONOCUNA O TIPO SCOOTER

En un principio, la estructura de estas motos estaba constituida por chapa estampada que tenía la ventaja de englobar el chasis con la carrocería (las chapas que protegen a los distintos componentes), pero en la actualidad se usa el tubo de acero manteniendo el concepto de escudo protector delantero y suelo reposapiés. Anteriormente, estas chapas reforzaban la estructura además de proteger al piloto.

La fatiga de metal, grietas y fisuras son los típicos síntomas que estos chasis suelen reflejar por la torsión del conjunto.



Figura 39. Chasis Monocuna

SIMPLE CUNA CERRADO

El chasis de simple cuna cerrado es aquel que dispone de perfiles en un solo plano vertical que parten desde el cabezal de dirección hasta la zona del eje del basculante, es decir, desciende un solo tubo desde la columna de dirección y pasa por debajo del motor formando una cuna. La estructura, compuesta por tubos soldados, alberga al motor en su interior. El perfil en la parte inferior del chasis es continuo desde el cabezal de dirección hasta la zona del basculante.

Se utilizaba en motos no deportivas de bajas prestaciones, ya que la rigidez peso potencia es poco favorable. Actualmente los modelos que se fabrican con este tipo de chasis prácticamente han desaparecido.



Figura 40. Chasis Simple Cuna Cerrado

SIMPLE CUNA ABIERTO O INTERRUMPIDO

Es una variante del chasis de simple cuna cerrado, y se diferencia de este, porque el perfil en la parte inferior está interrumpido al llegar al motor, siendo el motor el que cierra esa zona. En este caso se utiliza el motor como estructura resistente. Estos chasis son muy económicos y son habituales sobre todo en cilindradas pequeñas, 125 y 250 cc y en la mayoría de motocicletas trail. El aspecto favorable de este tipo de chasis es que rebajará el precio final del producto, pero a costa de que no podemos exigirle grandes prestaciones en situaciones límite, en donde es muy posible que nos responda con un acusado flaneo (oscilación lateral que produce el tren trasero cuando la motocicleta está inclinada y suele producirse por chasis poco rígido o amortiguaciones blandas). Lo normal es que estos chasis se monten en motos muy sencillas, naked o scooters básicos por lo que se favorece el acceso de los elementos en las tareas de mantenimiento.



Figura 41. Chasis Simple Cuna Abierto, Ducati 24 horas (1973)

SIMPLE CUNA DESDOBLADO

Es otra variante del chasis de simple cuna, en el que del cabezal de dirección desciende un único tubo pero que se desdobra delante o debajo del motor, llegando a la zona del eje del basculante trasero dos tubos. Ofrece algo más de rigidez al conjunto que el cuna abierto, pero sigue teniendo sus limitaciones en la unión delantera del tubo principal con el de la horquilla, donde se producen la mayor parte de las fuerzas de torsión. Este tipo de chasis se utiliza habitualmente en motocicletas de campo y trail.



Figura 42. Chasis Simple Cuna Desdoblado, KTM 250X (2011)

DOBLE CUNA

Dos tubos descienden desde el cabezal de dirección y pasan por debajo del motor formando una cuna y abrazando al motor por los laterales en su parte inferior, en la zona del cárter, llegando al anclaje del basculante por separado. Estos chasis son más rígidos que los de simple cuna ya que forman una estructura más sólida. En muchos casos la cuna o parte inferior del chasis va atornillada para facilitar su desmontaje a la hora de introducir el motor.

Este tipo de chasis se utiliza en motocicletas cuya anchura frontal del motor sea considerable como por ejemplo, aquéllas que disponen de varios cilindros. Es usual en motocicletas tipo custom. También era típico de motocicletas de grandes cilindradas en los años 80.

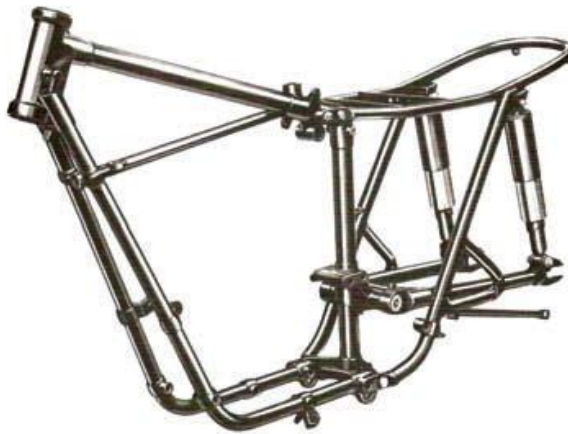


Figura 43. Chasis Doble Cuna, Triumph (1962)

MULTITUBULAR

Es un chasis enfocado a resistir los grandes esfuerzos provocados por las aceleraciones y desaceleraciones de la competición. Este chasis consiste en dos vigas a cada lado del motor que unen el cabezal de dirección con la zona del eje del basculante trasero, pero compuestas por tubos, rectos y cortos, colocados a modo de celosía. Estos tubos cortos, que suelen ser de secciones circulares y de acero al cromo molibdeno, le dan una gran rigidez al chasis. Generalmente estos tubos se diseñan para que solo trabajen a tracción o a compresión. En muchos casos el motor se utiliza adicionalmente como elemento estructural, soportando incluso el anclaje directo del basculante trasero. Este tipo de chasis es muy característico de Ducati.

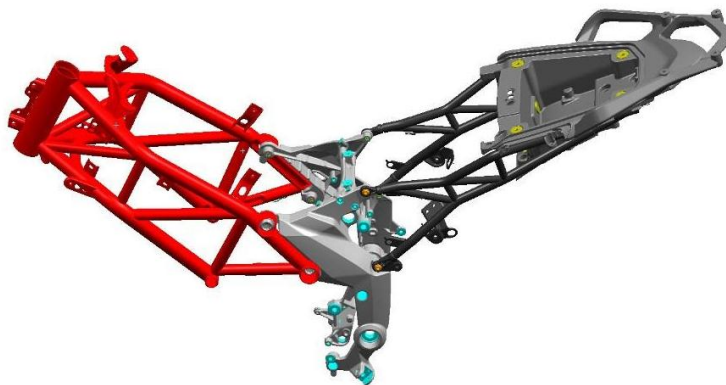


Figura 44. Chasis multitubular de Ducati

DOBLE VIGA O PERIMETRAL

Este tipo de chasis es el más utilizado en motos deportivas. La estructura que conforma este tipo de chasis está formada por dos vigas de elevada sección, una a cada lado del motor, que parten del cabezal de dirección y acaban en la zona del eje del basculante. Las vigas abrazan perimetralmente al motor por su parte superior y suelen ser generalmente de aleaciones de aluminio. Además, incorporan soportes inferiores para anclar el motor. En algunos casos se incorporan aberturas en las vigas para el paso de aire hacia la admisión. Estos chasis pueden ser fabricados por fundición, laminación o extrusión, o por combinación de estos métodos. El cabezal de dirección y la zona del anclaje del basculante son las zonas que sufren mayores esfuerzos, por ello son zonas que generalmente se suelen fabricar mediante fundición.

Este tipo de chasis puede disponer de un subchasis trasero de acero o de aluminio, desmontable, sobre el que se fijarán los recubrimientos y soportes de la parte trasera de la motocicleta.



Figura 45. Chasis Doble Viga, Yamaha R6 (2008)

DOBLE VIGA CERRADO

Es una variante del chasis de doble viga. En este caso, además de disponer de las dos vigas que abrazan al motor en su zona superior por los laterales, parten otros dos tubos del cabezal de dirección hacia la zona inferior del motor y al basculante, haciendo de cuna y con sección muy inferior que las de la doble viga. Este tipo de chasis se utilizaba en

motocicletas deportivas de los años 90 como la Suzuki GSX R 750 (1993), la Kawasaki ZXR 750 (1990) o la Suzuki GS 500 (1989-2007).

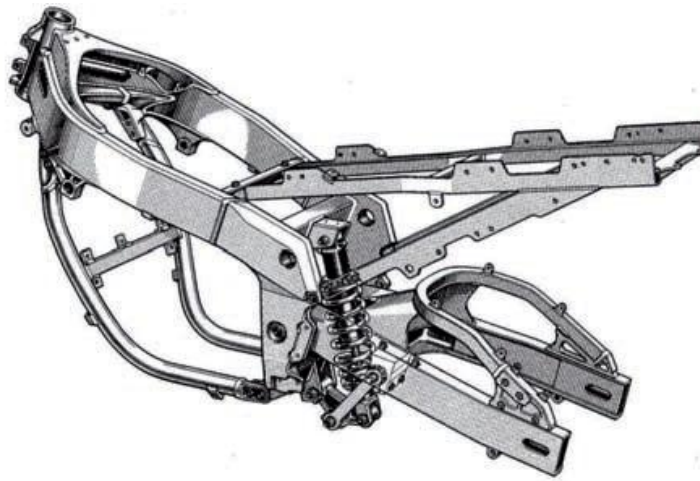


Figura 46. Chasis Doble Viga Cerrado, Kawasaki ZRX 750 (1990)

MONOCASCO

Es el tipo de chasis utilizado por Vespa durante muchos años. Chasis monocasco autoportante de chapa estampada que hace las funciones de chasis y a la vez de carrocería. Es una técnica que se utiliza en su mayoría en los diseños del automóvil (carrocería autoportante). Es un tipo de chasis muy inusual en otros modelos de motocicletas.



Figura 47. Chasis Monocasco, Kawasaki ZZR 1400 (2012)

MONOVIGA O DE ESPINA CENTRAL

Podría considerarse como un tipo de chasis tubular en el que el tubo que discurre por la parte superior toma mayor protagonismo, con mayores dimensiones y llega a ser prácticamente una viga. El motor ya no se rodea en la parte inferior por la cuna, sino que queda colgado bajo el perfil tubular o espina central del chasis. Esta monoviga dispone de unos soportes laterales para permitir anclar al motor.



Figura 48. Chasis monoviga, Honda CB 900F (2002)

TIPO OMEGA

Es un chasis inusual, la Yamaha GTS o la Bimota Tesi son modelos que disponían de este tipo de chasis. Se denomina así por su parecido con la última letra del alfabeto griego. La horquilla delantera tiene una forma más similar a un basculante aunque permitiendo el giro para cambiar de dirección. Adicionalmente se utilizan estructuras de entramados tubulares para soportar el cabezal de dirección.



Figura 49. Chasis Omega, Yamaha GTS 1000 (1993)

4.1.2 ESFUERZOS SOBRE EL CHASIS

En este apartado se tratarán las fuerzas que se ejercen sobre el chasis de una motocicleta en las situaciones más extremas: en frenada máxima en la rueda delantera y en paso por curva.

4.1.2.1 FRENADA MÁXIMA EN LA RUEDA DELANTERA

En esta situación se considerará que solamente se frena con el freno delantero con la máxima eficiencia posible. Este caso someterá a máxima flexión el chasis, ya que si se utilizase también el freno trasero su acción reduciría el momento aplicado por la horquilla en la pipa de dirección. La fuerza de frenada en la situación límite vendrá determinada por la geometría de la moto.

Las fuerzas representadas en la figura muestran el peso P de la moto (y piloto en su caso) y su reacción en el suelo F_1 y F_2 . La fuerza debida a la inercia que lleva la moto debido a su deceleración es representada por F_4 . Esta fuerza es compensada en la frenada con la reacción que el suelo realiza sobre el neumático F_3 .

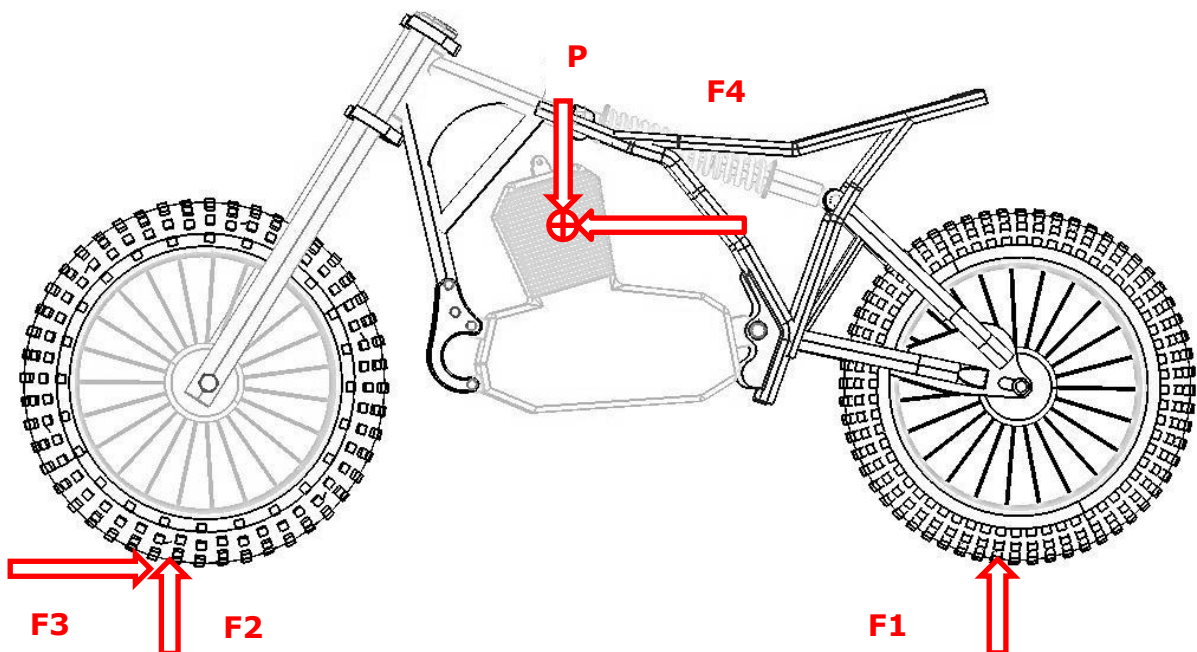


Figura 50. Fuerzas en frenada máxima en rueda delantera

La suma vectorial de P y F_4 será un vector aplicado en el CDG que deberá estar alineado, en el caso límite, con el vector resultante de la suma vectorial de F_3 y F_2 , situado este último en el punto de contacto entre la rueda delantera y el asfalto. Si las fuerzas F_3 y F_4 aumentaran por encima de la situación límite, la moto de la figura empezaría a girar en sentido antihorario a través de un eje situado perpendicular al dibujo y que pasa por el punto de contacto entre el neumático delantero y el asfalto.

Se debe tener en cuenta que la frenada provoca el hundimiento de la horquilla, fenómeno que tiene por efecto secundario bajar el CDG de la moto y disminuir la distancia vertical entre F_4 y F_3 , aunque no se considerará ya que suponer la situación rígida provoca una sollicitación mayor, por lo que será un caso de diseño aún más crítico.

4.1.2.2 PASO POR CURVA

Este análisis se efectuará considerando el paso por curva de la moto con su inclinación máxima, y por tanto, no existirán fuerzas de aceleración ni de frenada ya que todo el agarre del neumático se destinará a vencer la fuerza centrífuga debido al paso por curva. El vector resultante de la suma vectorial de F_1 y F_2 deberá ser colineal con el de la otra suma vectorial de P y F_3 tanto en la rueda trasera como en la ruda delantera.

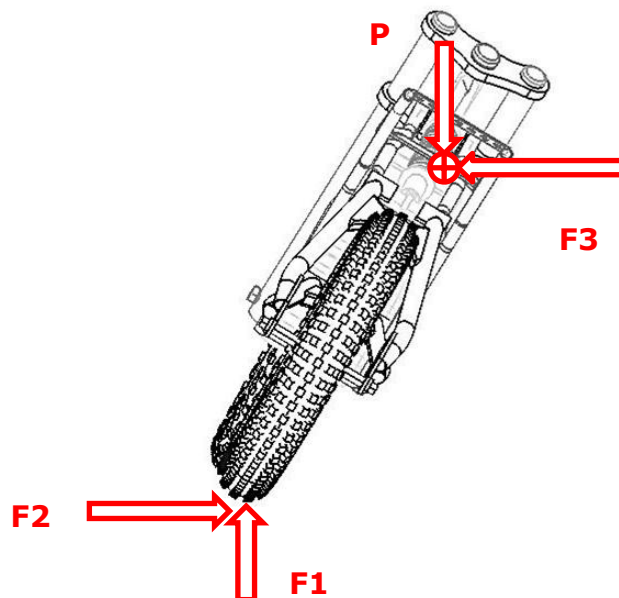


Figura 51. Fuerzas en paso por curva

El punto de aplicación de la fuerza entre los neumáticos y el asfalto se verá desplazado hacia la derecha respecto al plano de simetría vertical de la moto debido a la inclinación, el ancho de neumáticos y al avance al aplicar el ángulo de deriva necesario para tomar la curva. La postura de "descuelgue" del piloto compensa este efecto desplazando el CDG también hacia la derecha respecto al plano mencionado anteriormente, provocando un esfuerzo torsional añadido.



Figura 52. Posición de "descuelgue" del piloto

4.2 BASCULANTE

El basculante es el elemento que conecta la rueda trasera al chasis. Podemos considerar que tiene tres puntos clave de unión. Uno es la unión con la rueda. Los otros dos relacionan el basculante con el chasis. Uno de ellos se encuentra en el extremo del basculante, donde pivota sobre el chasis, permitiendo así el recorrido de la suspensión trasera (segundo punto de relación con el chasis, que se produce mediante el amortiguador trasero).

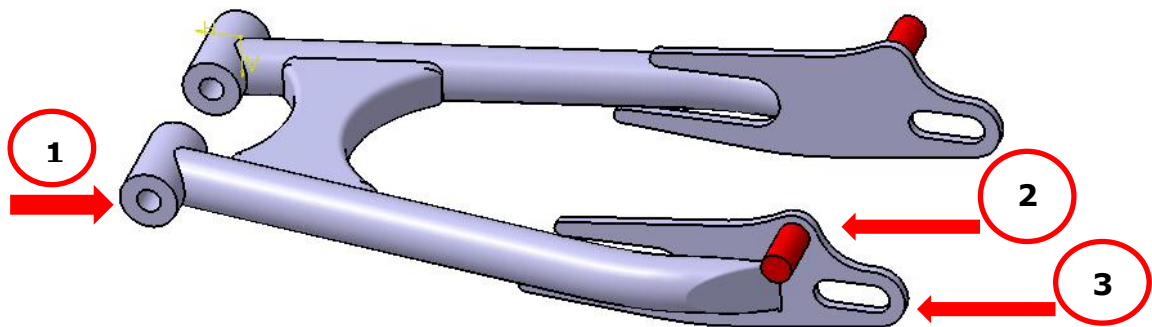


Figura 53. puntos clave del basculante

En la figura superior se pueden ver los tres puntos fundamentales del basculante:

- El número 1 indica la posición en la que el basculante se ancla al chasis mediante unos rodamientos para que pueda haber giro relativo entre ellos.
- El número 2 muestra los anclajes del amortiguador trasero del basculante, en este caso de doble amortiguador.
- El número 3 es la zona donde se apoya el eje de la rueda trasera

4.2.1 TIPOS

La tipología del basculante ha estado unida a los diferentes tipos de suspensiones traseras que se han utilizado a lo largo de la historia. Inicialmente las motocicletas eran de chasis rígido, sin suspensión trasera, lo cual ocasionaba problemas de comodidad a la vez que era un peligro a altas velocidades ya que producía grandes vibraciones y problemas de tracción ya que las ruedas no mantenían el contacto constante con el suelo.

Con el paso del tiempo se hizo necesario un anclaje elástico con el chasis. Primeramente tuvo éxito la suspensión trasera por émbolo, pero finalmente se acabó imponiendo el sistema de brazo basculante. Este brazo basculante va unido al chasis por un anclaje móvil y uno o varios amortiguadores dependiendo del tipo de suspensión que se quiera.

Un tipo especial de basculante es el monobrazo. Normalmente estas piezas disponen de dos brazos, de manera que, junto con el eje de la rueda, forman una estructura cerrada. Los hay de sección variable, reforzados, dobles...

4.2.2 ESFUERZOS SOBRE EL BASCULANTE

Los mayores esfuerzos que se ejercen en el basculante son: laterales cuando se toma una curva y verticales cuando se realiza un salto con la moto o se pasa por encima de un obstáculo. Estos esfuerzos se representan en la figuras siguientes.

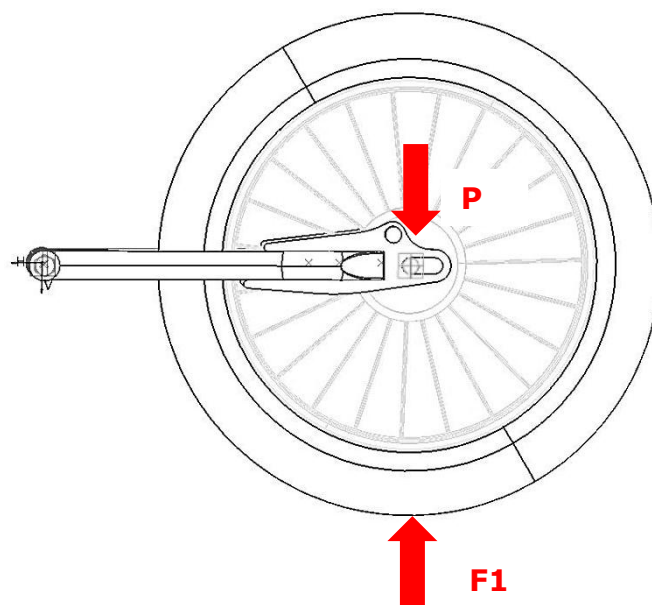


Figura 54. Esfuerzos ante un obstáculo

La fuerza F_1 de reacción ejercida en este caso a la motocicleta es perpendicular al eje de la rueda en el punto de contacto del neumático con el asfalto. Dependerá de la aceleración que lleve el vehículo en el momento que realice un salto o pase por encima de un obstáculo.

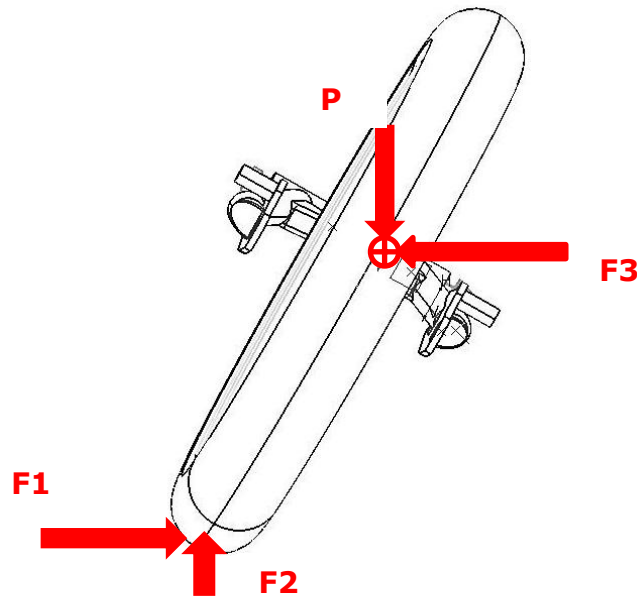


Figura 55. Esfuerzos en una curva

Como se puede apreciar en la ilustración superior, en el caso de paso por curva, las fuerzas que se ejercen en el basculante son las mismas que las descritas anteriormente para el chasis.

5. FÍSICA BÁSICA DE LA MOTOCICLETA

En este apartado se abordarán diferentes aspectos fundamentales a la hora de entender cómo funciona una motocicleta y la importancia de los fundamentos físicos en todo ello.

5.1 INTRODUCCIÓN

Cuando se habla de la estabilidad de las motocicletas, es común que rápidamente se piense en el efecto giroscópico de las ruedas en rotación. Dicho efecto existe y aporta su granito de arena pero su efecto es relativamente pequeño, no es suficiente para mantener la estabilidad de la moto ni siquiera en línea recta.

De hecho, es posible construir motocicletas sin efecto giroscópico. Basta con añadir ruedas que giren en el sentido contrario (pero sin tocar al suelo para no frenar el movimiento). Este movimiento contrario contrarresta el momento angular de las ruedas normales. Si el efecto giroscópico fuera esencial para la estabilidad de la motocicleta, estos vehículos no deberían poder circular. Pero eso no es así.

El único lugar en que el efecto giroscópico es realmente importante es en la competición. En una carrera queremos ir siempre al límite y por lo tanto aprovechamos cualquier ayuda. Aunque sea relativamente poco, algo aporta, y por lo tanto permite ir un poco más rápido en curva.

Físicamente, una moto es lo que llamamos un péndulo invertido. En un péndulo normal tenemos un punto fijo y una masa que cuelga por debajo de él. Si movemos un poco la masa de su sitio, la gravedad tirará de él y, por lo tanto, volverá a bajar por su propio peso. Es decir, un péndulo simple vuelve por sí sólo a la posición de equilibrio, decimos que es un "sistema estable".

Sin embargo, una motocicleta funciona justo al revés. El punto fijo (donde las ruedas contactan con el pavimento) está por debajo de la masa. Puede mantenerse en equilibrio únicamente si el centro de gravedad permanece justo por encima de la línea que une ambas ruedas. Pero cualquier desviación, por pequeña que sea, hará que el peso la tire al suelo. Es decir, por sí solo el péndulo invertido tiende a alejarse de la posición de equilibrio, es un "sistema inestable".

Por lo tanto, debemos compensar tan rápidamente como sea posible cualquier pequeña desviación que ocurra. Es imperativo hacer que el centro

de gravedad vuelva a estar sobre la línea que une los puntos de contacto de cada rueda con el suelo. Esencialmente, hay dos formas de hacerlo:

- La primera forma de conseguirlo es dejar las ruedas quietas, y simplemente cambiar de sitio el centro de gravedad para que vuelva a la línea de estabilidad. Por ejemplo, si la moto está empezando a ladear hacia la derecha, lo que podemos hacer es desplazar nuestro cuerpo hacia la izquierda. El cambio de posición de nuestra masa, corrige la posición del centro de gravedad del sistema moto-piloto, devolviendo la estabilidad.
- La segunda forma consiste en dejar el centro de gravedad donde está, y mover las ruedas de forma que la línea que las une vuelva a estar debajo del centro de gravedad. Esto se consigue girando el manillar y avanzando (o retrocediendo) un poco. Al movernos unos centímetros con el manillar girado, la moto gira un poco. Por lo tanto, la línea que une ambas ruedas también gira, y se vuelve a situar debajo del centro de masas, recuperando la estabilidad.

De estas dos formas podemos mantener el equilibrio cuando la motocicleta está quieta, o se desplaza a muy poca velocidad. La primera de ellas funciona mejor en vehículos ligeros, como bicicletas o ciclomotores. En una moto grande, la masa de nuestro cuerpo es pequeña en comparación con la del conjunto, por lo que la influencia de nuestra postura es menor. Por eso en una moto grande la mejor opción es mover el manillar.

Cuando la moto se está moviendo a gran velocidad, el sistema no cambia mucho. Es cierto que la tendencia de las ruedas a mantener el plano de su rotación puede compensar parte de las desviaciones laterales que se producen, pero como ya se ha mencionado, este efecto giroscópico no es suficiente para mantener la estabilidad.

De hecho, seguimos teniendo las mismas opciones anteriormente descritas: o bien el piloto se balancea un poco para mantener el equilibrio, o bien giramos el manillar. El primer método funciona especialmente bien en las bicicletas. En ellas, al ser muy ligeras, el ciclista necesita balancearse muy poco para compensar las pequeñas desviaciones pudiendo cubrir grandes distancias sin siquiera tocar el manillar.

Sin embargo el método más útil es girar el manillar. Pero se debe hacer con sutileza: como ahora nos estamos moviendo a gran velocidad, cualquier mínimo giro en el manillar, se traduce en un desplazamiento lateral de la moto muy exagerado. Por lo tanto, cuanto más rápido se va, menos es necesario mover el manillar para mantener el equilibrio.

De hecho, a grandes velocidades, las correcciones son tan sutiles que casi se realizan de forma inconsciente. El piloto tiene la sensación de que no le cuesta nada mantener el equilibrio.

Una vez que se tiene una idea generalizada de cómo mantener el equilibrio en línea recta en una motocicleta, se analizará más en profundidad otros aspectos físicos que intervienen en la conducción.

5.2 CONSIDERACIONES GEOMÉTRICAS

La geometría de la motocicleta es una parte fundamental en su diseño, sobre todo desde el punto de vista de la seguridad de marcha. Destaca la geometría del chasis, con unas medidas y ángulos específicos facilitados por el fabricante que influyen directamente en que la motocicleta tenga un comportamiento perfecto, con estabilidad a cualquier velocidad y circunstancia, ya sea en línea recta o en curva.

La geometría tiene cada vez más importancia debido a la aparición de nuevos modelos cada vez más potentes y prestacionales que requieren mayor estabilidad en movimiento. La configuración geométrica del chasis influye además de manera decisiva en el comportamiento de la parte ciclo de la moto, que en gran parte decidirá que una moto sea más o menos estable a elevada velocidad.

La geometría del chasis, así como el reparto de pesos son características que condicionan que una moto sea estable, o por el contrario ágil y nerviosa, debiendo el fabricante encontrar entre todas ellas un compromiso que permita un uso racional de cada modelo. En la geometría de la motocicleta hay 2 ejes esenciales: el de dirección y el basculante. El eje de dirección lo configura la línea sobre la cual gira el sistema de dirección; es decir, la tija y la horquilla delantera. Aquí ancla el tren delantero al chasis. También se denomina eje del cabezal de dirección o eje de la pipa. El eje del basculante es el eje sobre el que gira el basculante trasero; es decir, donde ancla el tren trasero.

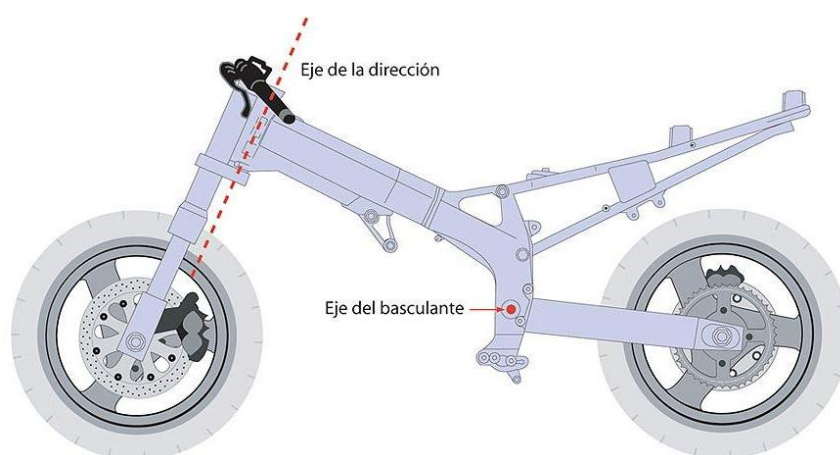


Figura 56. Ejes principales de la motocicleta

La geometría de la moto está influenciada por varias medidas, entre las que destacan las de la dirección. Esta queda determinada por 2 factores: el avance y el propio ángulo de avance o de dirección.

LANZAMIENTO: El ángulo de avance o de dirección, también llamado lanzamiento, es el formado por el eje de la dirección con la vertical. Es un ángulo muy importante, pues determina, en colaboración con otros factores, la facilidad de la motocicleta para inclinarse al tomar curvas. De hecho, las motocicletas de un mismo segmento suelen tener un ángulo de lanzamiento muy similar. Para un mismo avance sucede generalmente que un ángulo de dirección menor confiere mayor facilidad de giro.

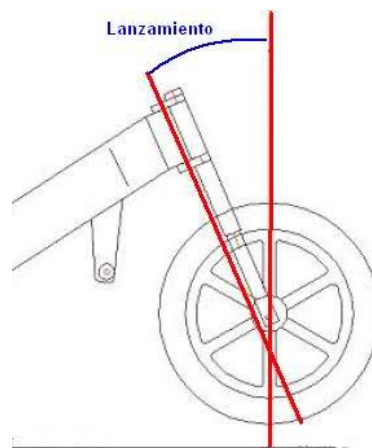


Figura 57. Lanzamiento en una motocicleta

Para motos convencionales este ángulo varía entre 22 y 29 grados pero se pueden encontrar casos especiales como las chopper. Este ángulo deja de tener importancia en sistemas como el Telelever de BMW, suspensiones de paralelogramo o monobrazos delanteros.

AVANCE: Es la distancia entre el punto de contacto de la rueda delantera con el terreno y la prolongación del eje de la dirección a su intersección con el suelo. La rueda, debido a la inclinación del eje de dirección y a que éste no pasa por el centro de la rueda, no gira alrededor del punto de contacto del neumático con el suelo. Esto provoca el autoalineamiento de la rueda delantera que, de no mediar fuerzas aplicadas sobre la dirección, tiende a seguir siempre una trayectoria rectilínea aportando estabilidad. Cuanto mayor es el avance más intensa es esta tendencia. El objetivo principal del avance es el de dar a la motocicleta una cierta estabilidad en línea recta. Este avance produce sobre la rueda delantera un momento (Fuerza x Distancia), que es precisamente el que nos ayuda a conducir la moto. Mientras el avance sea positivo, este momento siempre girará la dirección para ayudar a la rueda a ir en la

dirección deseada, mientras que si el avance se vuelve negativo este momento girará bruscamente la dirección hacia dentro y provocará una caída. La principal función del avance de la rueda delantera es proporcionar una cierta estabilidad direccional.

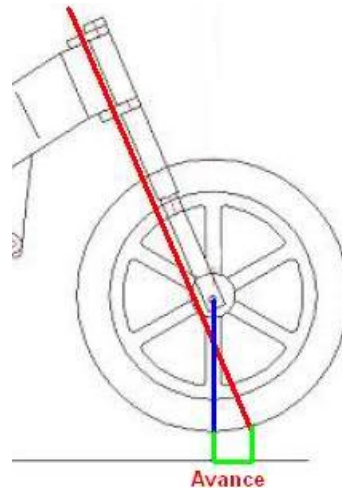


Figura 58. Avance en una motocicleta

Los avances típicos para motos de carretera están entre 80 y 120mm pero hay que decir que pequeñas variaciones en este pueden producir grandes cambios.

Lo importante:

- Un avance Mayor nos proporcionará un momento mayor pero nos restará agilidad.
- Un avance Pequeño nos proporcionará un momento menor pero la moto será muy ágil.

DISTANCIA ENTRE EJES: La batalla o distancia entre ejes es la cota entre los ejes de ambas ruedas cuando la motocicleta está en reposo. En parte determina la manejabilidad, aumentando con ella la tendencia a seguir recto cuando se inicia un giro. Cuanto más larga es la moto, más ángulo ha de girar la dirección para tomar una curva. Por tanto, la distancia entre ejes también influye en la maniobrabilidad.

En muchas motocicletas es normal un ajuste de entre 20-40mm para el tensado de la cadena. Aunque la distancia entre ejes no es un tema crítico en el sentido de que tiene que ser exacto, influye mucho la maniobrabilidad de la moto y su feeling. Superando los 1450mm se deja de sentir agilidad y esta no se recupera aunque se utilicen cotas superagresivas. Por eso la cadena de transmisión tiene cierto margen de

estiramiento y la práctica de cortar eslabones para mantener la tensión de ésta tiende a disminuir la distancia entre ejes.

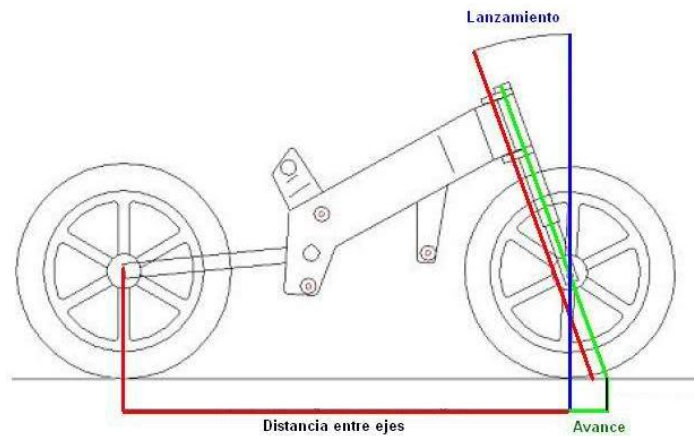


Figura 59. Distancia entre ejes

Lo importante:

- Una distancia entre ejes grande produce una gran estabilidad en recta.
- Una distancia entre ejes corta provoca lo contrario, poco estable en recta.

La interacción de los tres elementos anteriores (Avance, Lanzamiento y Distancia entre ejes) es crucial para determinar el comportamiento de una motocicleta. El sistema de horquillas convencionales es el mejor mecanismo para combinar estos tres factores ya que:

1. Cuando frenamos la horquilla se "hunde", por lo tanto el lanzamiento disminuye: las barras se vienen hacia adentro y consecuentemente disminuye el avance. Esto nos proporciona dos cosas: menor distancia entre ejes (moto mas ágil) y mejor maniobrabilidad. Justo lo que necesitamos para entrar cómodamente en una curva.
2. Cuando aceleramos (por ejemplo en la autopista) la horquilla delantera se extiende, aumentando el lanzamiento y consecuentemente el avance; esto nos proporciona mayor distancia entre ejes y menos maniobrabilidad (dirección más dura), con el consecuente aumento de estabilidad, lo que necesitamos para ir seguros a gran velocidad

MODIFICACIÓN SIMPLE DE ESTOS TRES PARÁMETROS EN UNA MOTO:

1. Desplazar las barras hacia arriba de las tijas reducirá el lanzamiento, el avance y la distancia entre ejes (además de bajar la componente Y del centro de gravedad y acercar el sistema de escapes al suelo). Este efecto también se puede conseguir subiendo la moto de atrás (mediante las bieletas del amortiguador trasero o por regulación de altura).
2. Desplazando las barras hacia abajo de las tijas aumentará el lanzamiento, el avance y la distancia entre ejes (además de subir la componente Y del centro de gravedad y alejar el sistema de escapes al suelo). Este efecto también se puede conseguir bajando la moto de atrás (mediante las bieletas del amortiguador trasero o por regulación de altura).

Asimismo, existen otras dimensiones que muestran cierta influencia en el comportamiento de la motocicleta. Se trata del decalaje de la tija, o distancia entre el plano formado por los ejes de las barras de la horquilla y el eje de dirección; es decir, el descentramiento entre el eje de la rueda delantera y el eje de dirección. Para un mismo lanzamiento, el decalaje de la tija permite conseguir el avance deseado para una motocicleta concreta.

El ángulo de caída es el formado por la vertical o eje de simetría y el eje del cabezal de la dirección, visto desde la parte delantera. Es decir, el ángulo entre la vertical de la rueda delantera y la vertical de la rueda trasera. Debe ser cero en todas las motocicletas. Dicho de otra manera, la sección media de la rueda delantera estará alineada con la sección media de la rueda trasera, y contenida en el plano de simetría longitudinal de la motocicleta.

El reparto de pesos también influye en el comportamiento. Por una parte se pueden alcanzar mayores prestaciones con la misma potencia; por otra, las fuerzas que actúan sobre las motocicletas son mayores. La ubicación de la masa también influye. Por ello la posición del centro de gravedad es importante. El centro de gravedad es el punto en el que se concentraría toda la masa de la moto si se contemplara como único (no coincide necesariamente con el centro geométrico). Cuanto más alto menos requiere inclinar la moto en curva, y más esfuerzo cuesta tumbarla. Al tomar una curva la fuerza centrífuga tiende a desplazar la moto hacia el exterior, y debe quedar compensada con la resistencia del neumático a desplazarse lateralmente.

5.3 EFECTO GIROSCÓPICO

El efecto giroscópico tiene lugar cuando la rueda, que sigue un movimiento rotacional alrededor de su propio eje con una velocidad angular ω , se le fuerza a girar también según otro eje, perpendicular al anterior, con velocidad angular Ω .

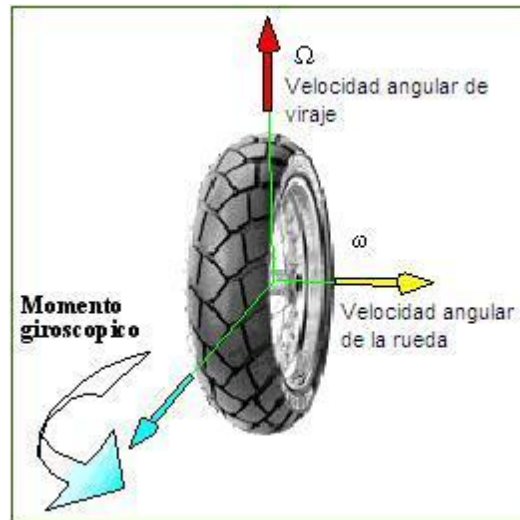


Figura 60. Efecto giroscópico

El efecto giroscópico se manifiesta como un momento que tiende a girar la rueda alrededor de un eje perpendicular a los otros dos. El valor de este momento giroscópico será igual al producto del momento polar de inercia de la rueda por las velocidades angulares ω y Ω .

En la dinámica de la motocicleta, existen diversas ocasiones en las que se crea un momento inducido por el efecto giroscópico. Efecto giroscópico de viraje, creado por el giro de las ruedas en una curva en un movimiento estable; efecto giroscópico de balanceo, creado por el giro de las ruedas, durante la inclinación de la motocicleta; y efecto giroscópico de dirección, generado por el giro de la rueda delantera durante una maniobra en la dirección.

5.3.1 EFECTO GIROSCÓPICO DEBIDO AL VIRAJE

Consideraremos una rueda girando alrededor de su propio eje a una velocidad angular constante ω , mientras la motocicleta toma una curva de radio R , con una velocidad angular constante Ω en torno al centro imaginario de esa curva (nótese que ω tiene un valor mucho más elevado que Ω). La rotación natural de la rueda (ω) y el giro de la motocicleta alrededor del centro de la curva (Ω), producen un momento giroscópico alrededor del eje horizontal, que tiende a levantar la motocicleta.

$$M_g = I_0 \cdot \Omega \cdot \omega \cdot \cos\varphi$$

Siendo I_0 el momento polar de inercia de la rueda respecto a su propio eje, ω la velocidad angular de rotación alrededor del mismo, Ω la velocidad angular con que toma la curva la motocicleta.

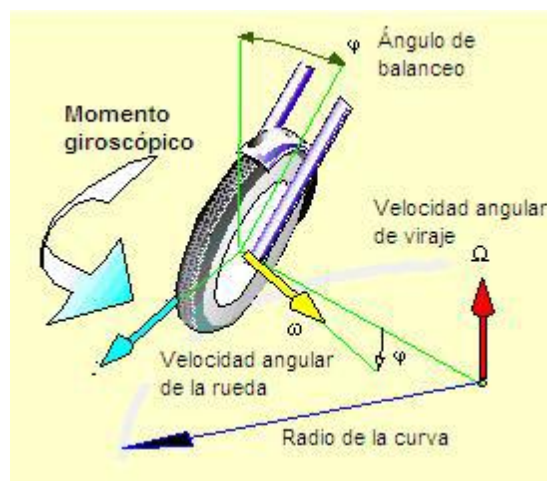


Figura 61. Efecto giroscópico debido al viraje

Ahora, tomaremos en cuenta el momento de inercia de ambas ruedas. Entonces, el efecto giroscópico valdría:

$$M = (I_d + I_t) \cdot \Omega \cdot \omega \cdot \cos\varphi$$

Siendo I_d y I_t los momentos polares de inercia de las ruedas delantera y trasera respectivamente.

Supongamos que el efecto giroscópico fuera nulo. Si también despreciamos la deformación de los neumáticos, las condiciones de equilibrio dinámico para esas condiciones de movimiento circular uniforme (velocidad lineal constante y radio de curvatura constante), imponen que la

resultante del peso y de la fuerza centrífuga intersecta la línea que une los puntos de contacto de ambas ruedas con el suelo.

En este caso ideal, el ángulo de inclinación de la motocicleta para tomar la curva vendría dado por la relación:

$$\varphi = \arctg\left(\frac{R\Omega^2}{g}\right)$$

Para contrarrestar el efecto giroscópico, la motocicleta debería estar más inclinada respecto al caso ideal, calculado considerando que el valor del efecto giroscópico es cero.

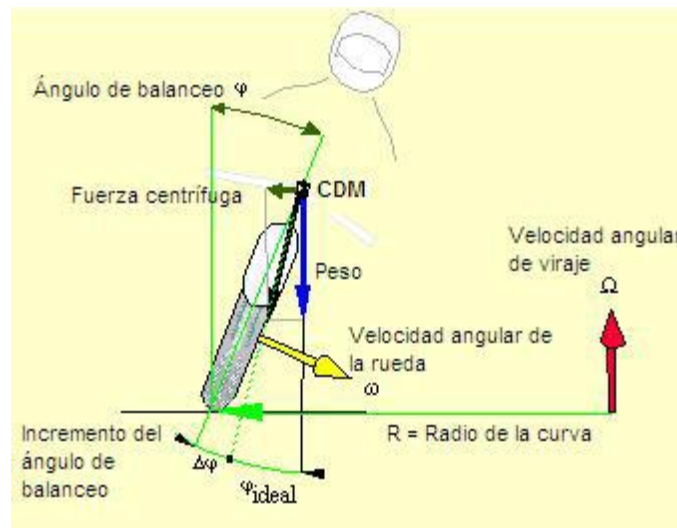


Figura 62. Efecto giroscópico debido al viraje

El incremento del ángulo de balanceo, debido al efecto giroscópico, no facilita la maniobrabilidad de la motocicleta, porque la moto, para lograr estabilizar el ángulo de balanceo (que es mayor), necesita más tiempo.

5.3.2 EFECTO GIROSCÓPICO DEBIDO AL BALANCEO

5.3.2.1 EFECTO GIROSCÓPICO EN EL MANILLAR

Este efecto giroscópico aparece cuando la motocicleta se inclina.

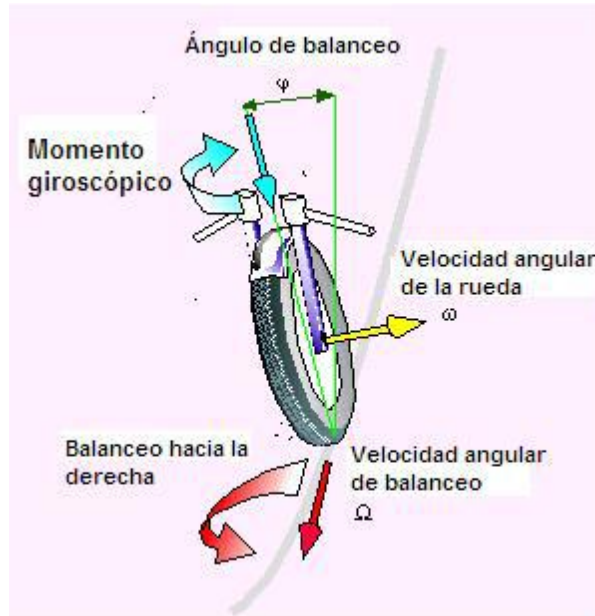


Figura 63. Efecto giroscópico del movimiento de inclinación

El movimiento rotatorio de la rueda delantera, junto con el movimiento de balanceo de la motocicleta hacia la derecha, crea un momento giroscópico sobre el tren delantero del vehículo. Su proyección sobre los ejes de dirección es:

$$M = -I \cdot \omega \cdot \Omega \cdot \cos \epsilon$$

Donde ϵ es el ángulo de inclinación del manillar.

El momento giroscópico, por lo tanto, tiende a girar el manillar hacia la derecha, facilitando la entrada en la curva (el incremento del ángulo de la dirección provoca una reducción del radio de la curva).

De forma similar, cuando el movimiento de balanceo cambia de signo y la motocicleta vuelve a la posición vertical, el efecto giroscópico tiende a disminuir el ángulo de la dirección, facilitando el cambio de curva a línea recta.

Por lo tanto, se puede decir que este efecto giroscópico tiene una influencia estabilizadora, en este caso en el que se tiende a mantener la motocicleta en equilibrio ejerciendo una acción de alineación.

5.3.2.2 EFECTO GIROSCÓPICO GLOBAL SOBRE LA MOTOCICLETA

Analizando otra vez un movimiento de balanceo de izquierda a derecha: el momento giroscópico sobre la motocicleta es:

$$M = -(I_d + I_t) \cdot \omega \cdot \Omega$$

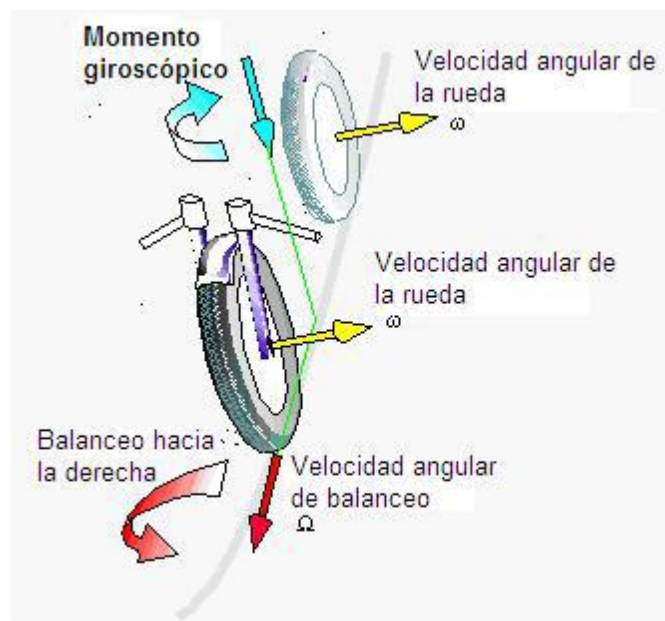


Figura 64. Efecto giroscópico global sobre la motocicleta

Durante la fase de balanceo, el efecto giroscópico del movimiento de las ruedas crea un momento que tiende a virar el vehículo, como se demuestra en la ilustración superior.

5.3.3 EFECTO GIROSCÓPICO DEBIDO AL GIRO DEL MANILLAR

Desde que la dirección de movimiento de la rueda es perpendicular a los ejes de la dirección, girando el manillar de derecha a izquierda se crea un momento giroscópico alrededor del eje de balanceo.

$$M = I \cdot \omega \cdot \Omega \cdot \cos \epsilon$$

Donde ϵ es el ángulo de inclinación del manillar.

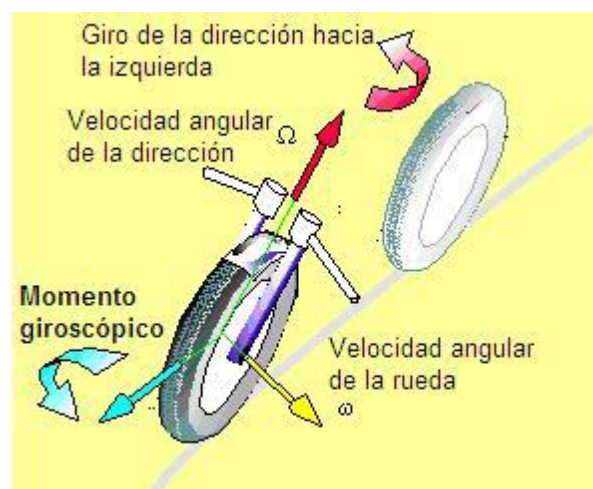


Figura 65. Efecto giroscópico debido al giro del manillar

Este momento tiende a inclinar la motocicleta en la dirección opuesta a la del giro de la dirección; por esta razón, para hacer una curva en una dirección durante una conducción rápida, el piloto debe hacer un rápido giro con el manillar hacia la dirección contraria.

Cuanto mayor sea la velocidad de giro del manillar Ω , mayor será el momento que tiende a inclinar la motocicleta en la dirección opuesta.

5.4 MOMENTOS ANGULARES

En lo referente a movimientos lineales, es la cantidad de masa de la máquina lo más importante. Pero cuando se trata de los movimientos angulares de cabeceo (alrededor de un eje transversal), de viraje (alrededor de un eje vertical) y de balanceo (alrededor de un eje longitudinal), la distribución de la masa es tan importante porque gobierna los llamados momentos de inercia. Estos son una medida del efecto de inercia alrededor del eje particular y su valor determina la facilidad con que se puede aplicar la aceleración angular de la máquina alrededor de ese eje.

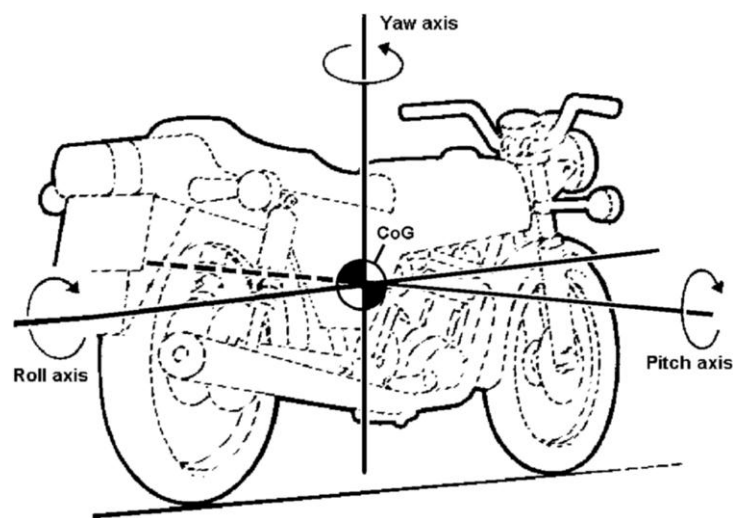


Figura 66. Ejes principales de una motocicleta

La figura superior muestra los tres ejes principales sobre los que una motocicleta puede girar. Esto demuestra la dirección de estos ejes a través del Centro de Gravedad. Su situación real depende de muchos factores dinámicos

- Pitch (Cabeceo). La inercia de cabeceo controla la rapidez con la que la moto se lanza hacia adelante o atrás en las diferentes situaciones debido al frenar, acelerar y baches en la carretera. En una moto de paseo contribuirá a la comodidad cuando se frena o al atravesar superficies con baches. Para carreras, un valor bajo de la inercia de cabeceo incrementará la velocidad de transferencia de carga ayudando en la frenada y aceleración. Las motos de trial por ejemplo deben cambiar la actitud rápidamente y necesitan una inercia mínima en todos los ejes. No es fácil geoméricamente definir el eje alrededor del cual una máquina cabeceará, ya que varía con la

configuración de la moto. Por ejemplo, si una máquina está amortiguada en la parte delantera, pero no en la parte trasera, cabeceará sobre el eje de la rueda trasera, mientras que una máquina con la disposición opuesta (es decir, amortiguada detrás y rígida delante) cabeceará sobre el centro de la rueda delantera. En el caso de una moto convencional, amortiguada en ambos extremos, el eje de cabeceo depende de la geometría de la suspensión y del ratio de muelles. De los tres movimientos angulares, el de cabeceo es único que comprende principalmente el movimiento de la parte suspendida de la moto con respecto a las ruedas, mientras que balanceo y el viraje son los movimientos globales de la moto, incluyendo las ruedas.

- Yaw (viraje). Cualquier vehículo que estará sujeto a un cierto grado de aceleración de viraje durante la entrada en una curva. En este caso, hay un conflicto de requerimientos, entre un elevado momento de inercia de viraje y uno bajo. Por ejemplo, un de valor alto mejora la estabilidad direccional, mientras que un valor bajo facilita los cambios rápidos de dirección. Dentro de los límites prácticos, es mejor conseguir un momento de inercia de viraje bajo, que consiste en concentrar la masa de la moto lo más cerca posible del centro longitudinal. Naturalmente, esto tiende a producir un bajo momento de inercia de viraje también.
- Roll (balanceo). El momento de balanceo de inercia es la suma de todos los componentes individuales de la masa total multiplicado por el cuadrado de su distancia a partir de un eje longitudinal que pasa por el Centro de Gravedad. Un momento de balanceo de inercia bajo es deseable para un cambio rápido y sin esfuerzo del ángulo de inclinación lateral.

5.5 REPARTO DE PESOS

Este apartado tratará de explicar el fenómeno reparto o transferencia de peso en la fase de frenada y aceleración.

Durante la fase de frenada, la carga sobre la rueda delantera aumenta, mientras que la carga sobre la trasera disminuye, esto es debido a este fenómeno de transferencia de peso. Esto sucede porque al frenar, la fuerza de inercia se opone a la frenada.

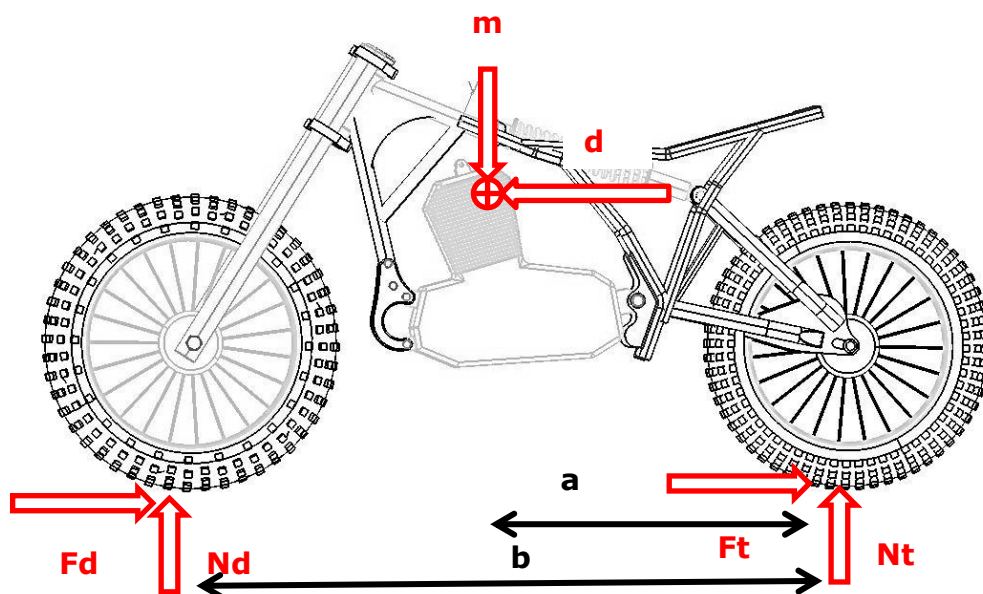


Figura 67. Frenado de una motocicleta

Si se aplican las ecuaciones de equilibrio al vehículo entero, se podrá obtener una expresión para calcular la transferencia de carga sobre las ruedas.

Equilibrio de fuerzas horizontales: La fuerza de deceleración inercial ($m \cdot d$: masa del conjunto, d : deceleración) es igual a la suma de las fuerzas de frenado en cada rueda (F_d : fuerza de frenado de la rueda delantera; F_t : fuerza de frenado de la trasera).

$$m \cdot d = F_d + F_t$$

Equilibrio de fuerzas verticales: El peso ($m \cdot g$: gravedad) es igual a la suma de las reacciones verticales producidas por la carga sobre cada rueda (N_d : reacción de la rueda delantera; N_t : reacción de la rueda trasera).

$$m \cdot d = N_d + N_t$$

Equilibrio de momentos en el centro de gravedad: ($F = F_d + F_t$; h : altura del centro de gravedad; a : distancia del centro de gravedad a la rueda trasera; b : distancia entre ejes)

$$-F \cdot h - N_t \cdot a + N_d(b - a) = 0$$

Con estas ecuaciones obtenemos que la carga dinámica sobre cada rueda es:

$$\text{Rueda delantera: } N_d = m \cdot g \cdot \frac{a}{b} + F \cdot \frac{h}{b}$$

$$\text{Rueda trasera: } N_t = m \cdot g \cdot \frac{b-a}{b} - F \cdot \frac{h}{b}$$

Como se puede apreciar, la transferencia de carga $F \cdot \frac{h}{b}$ es proporcional a la fuerza total de frenado, la altura del centro de gravedad, e inversamente proporcional a la distancia entre ruedas.

Con la intención de evitar el deslizamiento de los neumáticos durante la fase de frenado, la fuerza de frenado no debe exceder el producto entre la carga dinámica sobre el neumático y el coeficiente de adherencia relativo. Este producto es la máxima fuerza aplicable para la condición de límite de adherencia de los neumáticos.

Para el caso de aceleración, el procedimiento a seguir es el mismo. Cabe destacar que la fuerza de inercia y las fuerzas de frenado tendrían sentidos opuestos en el diagrama de fuerzas.

Las ecuaciones vistas son unas ecuaciones simplificadas en las que las cotas de la moto "b", "a" y "h" permanecen constantes. En la realidad estas distancias varían porque el vehículo tiene suspensiones.

6. DISEÑO PRELIMINAR

6.1 METODOLOGÍA

El proceso de diseño del chasis y basculante seguirá la línea de trabajo expuesta a continuación.

Para comenzar se tomarán las cotas de la motocicleta a modificar, la Yamaha SR250. Después se dibujarán los elementos principales de la motocicleta mediante el software de tres dimensiones CATIA V5. Se comprobará que las dimensiones del dibujo coincidan con las de la motocicleta original y se reajustarán posibles errores de la toma de medidas.

En nuestro caso se realizará el modelado de las piezas a modificar originales en el programa ya mencionado CATIA V5 y mediante el Módulo de Análisis y Simulación del propio programa se calculará cómo se comportan al aplicarle una carga determinada. Puesto que el chasis y basculante de la moto original está demostrado que funcionan, los valores obtenidos en el análisis se darán por correctos.

Una vez analizada cual va a ser la modificación concreta a realizar, se procederá nuevamente al modelado de las piezas y a su análisis mediante FEM. Los valores obtenidos se compararán con los iniciales y se determinará si son correctos o hay que rediseñar nuevamente las piezas.

Como lo que buscamos es que el chasis modificado aguante tanto o más que el original, nos fijaremos cual es el valor del coeficiente de seguridad que resulta en el chasis inicial cuando le aplicamos las cargas. La modificación tendrá que tener un coeficiente igual o superior al calculado anteriormente cumpliendo así con la normativa.

Esta metodología difiere de la que se realiza normalmente para calcular un chasis, ya que se suele calcular un chasis averiguando cual es la tensión máxima que puede soportar y cómo se comporta antes determinadas situaciones. En este caso es importante resaltar que se trata de hacer una comparación entre dos chasis pero partiendo de que el primero ya lo suponemos que funciona puesto que está comercializado y con amplia experiencia.

Si los resultados de estos análisis son correctos se dará por buena la modificación del chasis. En caso contrario se realizarán las modificaciones pertinentes.

Además del tema del coeficiente de seguridad del chasis, nos fijaremos que la tensión producida por las cargas que hemos aplicado se encuentra dentro de la zona elástica del diagrama tensión-deformación. Este es un parámetro fundamental para saber si las cargas que suponemos son correctas y el material aguantará o deberíamos escoger otro material que aguante esa tensión. Sin embargo en nuestro caso partimos de que el material de origen ya sabemos que es acero y por lo tanto la idea de escoger otro material la desechamos.

Por otra parte también jugará un papel fundamental la experiencia de David Azpiroz, ingeniero industrial de profesión y su trabajo en el mundo de la motocicleta aportando datos y aconsejando dónde realizar las simplificaciones.

Por último hay que comentar que lo rudimentario de la toma de medidas del chasis original puede limitar la exactitud del modelo y por tanto los resultados obtenidos a partir de él.

6.2 PARÁMETROS A ESTUDIAR Y SIMPLIFICACIONES

Como se ha indicado anteriormente, en este estudio de diseño de modificación, hay que tener en cuenta que podemos realizar una serie de simplificaciones ya que partimos de un chasis que funciona. Por ello vamos a abordar qué aspectos vamos a tener en cuenta para hacer el análisis y cuáles no.

Normalmente, el conjunto de parámetros que influyen en el diseño de un chasis son:

- Cargas longitudinales: Frenada y aceleración
- Cargas verticales: propio peso de la moto
- Esfuerzos a torsión: Rigidez torsional, Flexión lateral
- Módulos propios: Vibraciones, Resonancia, Fatiga

Es muy raro que el fallo provenga de la aplicación estática de las cargas que aparecen en una utilización normal, sino que suele deberse o a una carga excesiva, como una caída, o por fatiga, lo cual acaba en rotura. Por lo tanto, si el chasis está sometido únicamente a las cargas recibidas de su uso normal, la causa de rotura será la fatiga. De ahí se extrae que la esencia de un buen diseño es asegurar que la rotura por fatiga solo se produzca bastante tiempo después de la vida que esperemos que va a tener el chasis.

La fatiga se produce con cambios continuos de tensión. En la práctica, los niveles de tensión de una estructura son aquellos que hagan que sean necesarios millones de ciclos de cargas inversas para que se produzca la rotura. Las características de la fatiga cambian de unos metales a otros, en nuestro caso el chasis es de acero y tiene un nivel de tensión llamado límite de resistencia a fatiga por debajo del cual nunca falla independientemente del número de ciclos que.

Para calcular este valor habría que hacer un estudio de fatiga y hallar las curvas S/N (resistencia a la fatiga/nº de ciclos) pero en nuestro caso partimos del chasis original que funciona y daremos por bueno la modificación en ese aspecto.

Lo mismo ocurre con las vibraciones y la resonancia, no las calcularemos.

El propósito principal de un chasis será buscar la máxima rigidez con un peso bajo. En este caso la estructura del chasis a calcular vendrá

determinada por el chasis de origen del cual se intentará modificar lo menos posible su geometría.

Este tipo de análisis se centrará exclusivamente en el conjunto chasis/basculante, no teniendo en cuenta otros factores como son:

- Tarado de las suspensiones
- Variación del avance durante la frenada
- Variación del lanzamiento durante la frenada
- Variación de la distancia entre ejes durante la frenada
- Variación del reparto de pesos durante la frenada
- Movimiento de las suspensiones en la frenada
- Interacción entre el neumático y el pavimento

En las cargas que se apliquen ya se supondrá que están incluidos estos factores.

Para consultar otras simplificaciones que se realizan a la hora de hallar la fuerza a aplicar ver capítulo de Cálculos.

También hay que reseñar que no se tendrán en cuenta como ya se mencionó en la introducción la parte digamos de taller: cómo soldar, cortar, medir, etc., ya que eso se deja para el taller que tenga que realizar la modificación.

6.3 ELECCIÓN DEL MATERIAL

A la hora de decidir con que material fabricaremos nuestro chasis hay que tener en cuenta una serie de características tales como: rigidez, densidad, ductilidad, resistencia, vida a fatiga, costes del material y del proceso y de los métodos de unión disponibles o requeridos. Los valores de estas características dependerán del tipo de uso y el grado de exigencia que queramos obtener del chasis proyectado.

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

Si aplicamos a un trozo de material una tensión que esté por debajo del límite elástico, tendrá lugar una cierta deformación de carácter elástico, ya que al eliminar la tensión aplicada, el material volverá a tener la forma y tamaño anteriores. Por el contrario, si se continúa aplicando más carga por encima del límite elástico, habrá un punto en el que se llegaría al límite elástico y el material rompería. El valor de la tensión que se debe aplicar para llegar desde el límite elástico hasta el límite de rotura da una idea de la ductilidad del material. La ductilidad determina el tipo de rotura que sufre el material, de tal forma que si éste sufre una gran deformación antes de romperse, se dirá que el material es dúctil. Sin embargo, si se trata de un material que rompe repentinamente, con escasa deformación, se dirá que éste es frágil.

En el caso que nos ocupa, los chasis de motocicleta, es recomendable que sean fabricados con materiales dúctiles, de tal manera que sean capaces de soportar un cierto nivel de sobrecarga sin llegar a la rotura.

Desgraciadamente, según aumenta la resistencia de los materiales, también suele aumentar su fragilidad. Así, la selección del tipo de material y el tratamiento térmico del mismo, supone una de las decisiones más importantes durante el diseño del chasis.

Es por ello que en un diseño clásico de un chasis nuevo el proceso sería:

- 1º. A qué tipo de cargas va a estar sometido el chasis
- 2º. Elección de un material que pueda soportar esas tensiones dentro del límite elástico

Sin embargo como ya hemos comentado usaremos acero para hacer la modificación ya que es el material del casi original, y será mejor para trabajar uniendo partes del chasis.

Se partió de la suposición de que el chasis y basculante de la motocicleta están realizados en un acero corriente SAE 1010 laminado en frío ya que este material puede cumplir los requerimientos mecánicos de este tipo de motocicletas. Las propiedades del material elegido son las siguientes:

Propiedades del acero SAE 1010		
	Valor	Unidades
Módulo de Young	$2 \cdot 10^{11}$	Pa
Poisson Ratio	0.266	
Densidad	7860	Kg/m^2
Expansión térmica	$1.17 \cdot 10^{-5}$	Kgdeg
Límite elástico	303	MPa
Resistencia máxima	365	Mpa

A modo de información repasaremos los materiales más empleados en la construcción de chasis:

6.3.1 ACERO

Se entiende por acero la aleación de hierro y carbono en la que el porcentaje de carbono no supera el 2% en peso. Porcentajes mayores que el 2% de carbono dan lugar a las fundiciones y aleaciones con muy pequeña cantidad de carbono se denominan hierro dulce o simplemente hierro. La diferencia fundamental entre ellos es que los aceros son, por su ductilidad, fácilmente deformables en caliente bien por forja, laminación o extrusión, mientras que las fundiciones se fabrican generalmente por moldeo, de hecho al acero también se le ha venido conociendo como «hierro forjable» y a la fundición «hierro colado» en virtud de la técnica más favorable para trabajar el material. Igualmente el acero se distingue del hierro dulce en que aquél puede templarse adquiriendo extraordinaria dureza mientras que el hierro dulce (blando y dúctil aunque resistente) no puede endurecerse mediante dicho procedimiento, incluso a este estado endurecido del acero se le llamó y aún llama «acritud» por contraposición a la «dulzura» natural del hierro.

La definición anterior, sin embargo, se circunscribe a los aceros al carbono en los que éste último es el único aleante o los demás presentes lo están en cantidades muy pequeñas, insuficientes para que su presencia

cause modificaciones en las características de la aleación, pues de hecho existen multitud de tipos de acero con composiciones muy diversas que reciben denominaciones específicas en virtud ya sea de los elementos que predominan en su composición (aceros al silicio), de su susceptibilidad a ciertos tratamientos (aceros de cementación), de alguna característica potenciada (aceros inoxidables) e incluso en función de su uso (aceros estructurales). Usualmente estas aleaciones de hierro se engloban bajo la denominación genérica de aceros especiales, razón por la que se ha adoptado la definición de los comunes o "al carbono" porque al ser los primeros fabricados y los más empleados, sirvieron de base para los demás.

6.3.2 ACERO AL CROMO-MOLIBDENO

Menos común que el resto en los chasis de motocicletas, es uno de los aceros inoxidables. Tanto el cromo como el molibdeno (el molibdeno es un elemento metálico) se emplean para evitar corrosión y oxidación, además, el molibdeno también le da mayor resistencia a impactos.

6.3.3 ALUMINIO

Su ligereza, conductividad eléctrica, resistencia a la corrosión y bajo punto fusión le convierten en un material idóneo para multitud de aplicaciones, especialmente en aeronáutica; sin embargo, la elevada cantidad de energía necesaria para su obtención dificulta su mayor utilización; dificultad que puede compensarse por su bajo coste de reciclado, su dilatada vida útil y la estabilidad de su precio.

El aluminio es un metal ligero, blando pero resistente de aspecto gris plateado. Su densidad es aproximadamente un tercio de la del acero o el cobre, es muy maleable y dúctil y apto para el mecanizado y la fundición. Debido a su elevado calor de oxidación se forma rápidamente al aire una fina capa superficial de óxido impermeable y adherente que detiene el proceso de oxidación proporcionándole resistencia a la corrosión y durabilidad.

Las aleaciones de Aluminio más idóneas para soldadura son las de Aluminio con Magnesio o con Manganeso. Una muy empleada es la Al-Zn-Mg que necesita de un proceso de soldadura delicado, pero presenta en cambio un proceso de recuperación de la zona alterada térmicamente de hasta el 90%.

Las ventajas del acero sobre el aluminio residen en que es más barato y más fácil de trabajar (no necesita soldadura TIG), y tiene una mayor tenacidad, es decir, puede absorber vibraciones, torsiones o

impactos sin rajarse o romperse. El aluminio en cambio es mucho más ligero que el acero (alrededor de 3 veces), lo cual constituye la principal ventaja de este material consiguiendo chasis muy resistentes y ligeros. Además, el aluminio no se oxida ni se erosiona con facilidad, al contrario que la mayoría de aceros (salvo los inoxidable). Sin embargo necesita ser soldado por soldadura TIG y no es tan común como el acero, por lo que suele resultar más caro.

El aluminio se empleaba hace décadas para construir prototipos y motos de carreras, tanto chasis monocasco como de espina central de gran sección. Algunos fabricantes realizaron espinas centrales en fundición de Aluminio, aunque no era habitual el hacer un chasis completo de esta manera, ya que el espesor mínimo de la pared que se necesita en el proceso de fundición solía dar lugar a unos componentes excesivamente pesados.

Yamaha comenzó a fabricar los chasis hechos con tubo de Aluminio, sobre todo en modelos para competición. En un principio se comenzó sólo construyendo el basculante en aleación ligera, pero más tarde esta técnica se extendió a todo el chasis, de tal manera que, en la actualidad, es casi universal el empleo de chasis de doble viga de aleación de Aluminio en modelos de competición y deportivos. Debido a las características de fatiga del Aluminio, es inevitable la rotura de componentes sujetos a tensiones cíclicas, por lo que éstos tendrán una vida limitada. Esto hace que en los modelos de calle, que tienen que tener una vida más prolongada, los niveles de tensión deban ser menores, perdiendo en parte la ventaja del peso al ser preciso usar más material.

6.3.4 TITANIO

El titanio es un elemento metálico de color gris oscuro, de gran dureza, resistente a la corrosión y de propiedades físicas parecidas a las del acero. Presenta una estructura hexagonal compacta, es duro, refractario y buen conductor de la electricidad y el calor. También se caracteriza por su alta resistencia a la corrosión y cuando está puro, se tiene un metal ligero, fuerte, brillante y blanco metálico de una relativa baja densidad. Posee muy buenas propiedades mecánicas y además tiene la ventaja, frente a otros metales de propiedades mecánicas similares, de que es relativamente ligero.

La aleación más empleada es la Ti-6Al-4V (con un 6% de Aluminio y un 4% de Vanadio), que tiene unas extraordinarias propiedades mecánicas: Resistencia a la tracción de 896 MPa, límite elástico de 827 MPa, ductilidad del 10%, dureza de 33 HRB y una soldabilidad muy buena. Las aleaciones

de Titanio permiten una la fabricación de piezas con una relación resistencia/masa envidiable y es posible esto le haga ser el material del futuro para la construcción de elementos mecánicos, con resultados excepcionales, en el campo de las motocicletas de competición.

El uso del Titanio en chasis empezó hace algunos años, cuando éste dejó de ser un metal de uso sólo en el ámbito aeronáutico. Sin embargo, hay cambios notables con respecto a las aleaciones que se usaban en un principio, y las actuales. En aquel momento, se comenzaron a construir en Titanio los chasis tubulares. Pero éstos flectaban demasiado, ya que el tamaño de los tubos era igual que el de los tubos de acero, y el Titanio, tiene la mitad de módulo. Por esta razón, los primeros intentos fueron un fracaso debido a los costes elevados, y procesos de construcción muy rudimentarios hicieron el resto.

A mediados de los años 70, debido a que muy pocas empresas tenían fondos como para desarrollar los conocimientos para el tratamiento y manejo del Titanio, la Federación Internacional de Motociclismo (FIM) prohibió el uso de componentes de este material tanto para el chasis como para las suspensiones en motocicletas de competición. En la actualidad, la situación es completamente distinta, han aparecido en escena nuevas aleaciones con mejores características, reduciéndose el precio final (a pesar de que sigue siendo elevado), de esta manera el Titanio ya no es un material crítico, pudiendo ser trabajado y tratado sin excesivas dificultades.

6.3.5 FIBRA DE CARBONO

Se denomina fibra de carbono a un material compuesto de plástico reforzado con grafito o con fibras de carbono. Es un material muy caro, fuerte y ligero. El plástico (resina) es habitualmente epoxy aunque otros plásticos, como el poliéster o el vinilester también se usan como base para la fibra de carbono. La densidad de la fibra de carbono es de 1.750 kg/m³. Es conductor eléctrico y de baja conductividad térmica. Al calentarse, un filamento de carbono se hace más grueso y corto.

- Las propiedades principales de este material compuesto son:
- Elevada resistencia mecánica, con un módulo de elasticidad elevado.
- Baja densidad, en comparación con otros elementos como por ejemplo el acero.
- Elevado precio de producción.
- Resistencia a agentes externos.
- Gran capacidad de aislamiento térmico.

- Resistencia a las variaciones de temperatura, conservando su forma, sólo si se utiliza matriz termoestable.

Las razones del elevado precio de los materiales realizados en fibra de carbono se deben a varios factores. Por un lado el refuerzo, fibra, es un polímero sintético que requiere un caro y largo proceso de producción. Este proceso se realiza a alta temperatura -entre 1100 y 2500 °C- en atmósfera de hidrógeno durante semanas o incluso meses dependiendo de la calidad que se desee obtener ya que pueden realizarse procesos para mejorar algunas de sus características una vez se ha obtenido la fibra. Por otro lado el uso de materiales termoestables dificulta el proceso de creación de la pieza final, ya que se requiere de un complejo utillaje especializado, como el horno autoclave.

Tiene muchas aplicaciones en la industria aeronáutica y automovilística, al igual que en barcos y en bicicletas, donde sus propiedades mecánicas y ligereza son muy importantes. También se está haciendo cada vez más común en otros artículos de consumo como patines en línea, raquetas de tenis, ordenadores portátiles, trípodes y cañas de pesca e incluso en joyería.

Cada filamento de carbono es la unión de muchas miles de fibras de carbono. Un filamento es un fino tubo con un diámetro de 5-8 micrómetros y consiste mayoritariamente en carbono. La estructura atómica de la fibra de carbono es similar a la del grafito, consistente en láminas de átomos de carbono arreglados en un patrón regular hexagonal. La diferencia recae en la manera en que esas hojas se intercrucan. El grafito es un material cristalino en donde las hojas se sitúan paralelamente unas a otras de manera regular. Las uniones químicas entre las hojas es relativamente débil, dándoles al grafito su blandura y brillo característicos. La fibra de carbono es un material amorfo: las hojas de átomos de carbono están azarosamente foliadas, o apretadas, juntas. Esto integra a las hojas, previniendo su corrimiento entre capas e incrementando grandemente su resistencia.

Se trata de un material de uso, relativamente, reciente. Comenzó desarrollándose en la industria aeronáutica y aeroespacial y rápidamente tuvo calado en la automovilística (en la fórmula 1 ha tenido un impacto enorme), al igual que en barcos donde sus propiedades mecánicas y ligereza son muy importantes. En el motociclismo le está costando más entrar a nivel de piezas estructurales, aunque cíclicamente siempre han aparecido motocicletas de competición que se basaban en él para fabricar el chasis o el basculante, algunas mencionadas en este documento. De cualquier manera lleva años instalado como base para la fabricación de

carrocerías, tubos de escape, manetas de freno, soportes, protecciones, y en general piezas que no tienen un compromiso estructural alto pero donde se puede ahorrar algo de peso.

6.3.6 MAGNESIO

El magnesio elemental es un metal liviano, medianamente fuerte, color blanco plateado. En contacto con el aire se vuelve menos lustroso, aunque a diferencia de otros metales alcalinos no necesita ser almacenado en ambientes libres de oxígeno, ya que está protegido por una fina capa de óxido, la cual es bastante impermeable y difícil de sacar. También reacciona con agua a temperatura ambiente, cuando se sumerge en agua, en la superficie del metal se forman pequeñas burbujas de hidrógeno, pero si es pulverizado reacciona más rápidamente.

El magnesio es un metal altamente inflamable, que entra en combustión fácilmente cuando se encuentra en forma de virutas o polvo, mientras que en forma de masa sólida es menos inflamable. Una vez encendido es difícil de apagar, ya que reacciona tanto con nitrógeno presente en el aire (formando nitrato de magnesio) como con dióxido de carbono (formando óxido de magnesio y carbono). Al arder en aire, el magnesio produce una llama blanca intensamente incandescente, la cual fue muy utilizada en los comienzos de la fotografía.

El magnesio, tanto fundido como trabajado con otros métodos, se ha usado para construir chasis de espina central. Además de su elevado coste y de las dificultades que presenta para soldar, tiene la dificultad añadida de una vida limitada, debido tanto a la fallo por fatiga como a la corrosión.

7. MODELADO DE COMPONENTES

7.1 SOFTWARE UTILIZADO

El software utilizado para el modelado de las piezas de la motocicleta será CATIA V5R20. También será este mismo programa el que sirva para la realización de la simulación de las cargas aplicadas y su influencia en el comportamiento de las piezas. Para ello se utilizará el módulo Analysis & Simulation de CATIA.



Figura 68. CATIA

CATIA V5 es un programa CAD (diseño asistido por ordenador) para realizar modelación mecánica. Es desarrollado por la compañía francesa Dassault Systèmes y tiene gran difusión en el mundo de la ingeniería para la modelización de piezas.

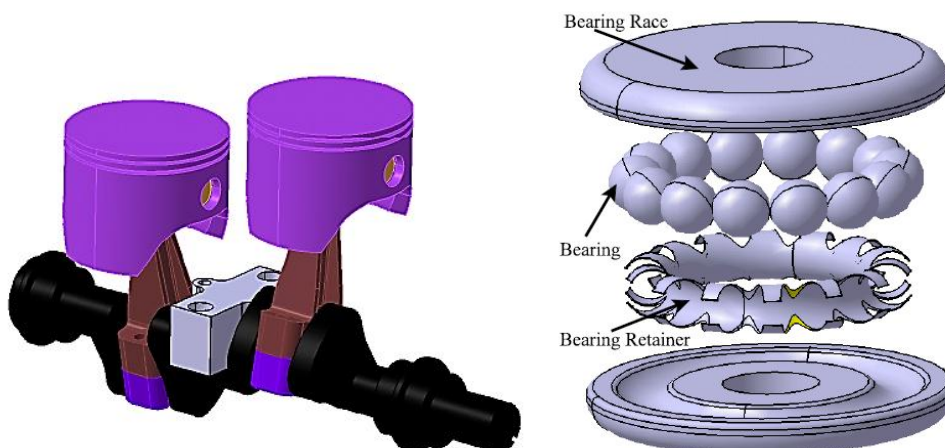


Figura 69. Ejemplos de piezas realizadas en CATIA

El programa permite modelar piezas y conjuntos y extraer numerosa información sobre el modelo virtual. El proceso consiste en trasvasar la idea mental del diseñador al sistema CAD mediante la construcción virtual de la pieza o conjunto. Esto permite ahorrar tiempo y coste respecto de los sistemas tradicionales de diseño ya que una vez que el modelo está definido en el ordenador se pueden realizar virtualmente numerosas operaciones sobre él. La extracción de planos de las piezas y conjuntos dibujados se realiza rápidamente de manera automatizada.

7.2 RESUMEN DE FUNCIONAMIENTO DE COMANDOS UTILIZADOS EN CATIA V5

En este apartado incluiré el resumen que realicé de los comandos principales utilizados para dibujar en CATIA en los módulos de Sketcher y Part Design y la manera de trabajar con ellos.

7.2.1 COMANDOS GENERALES

ARBOL DE OPERACIONES

Seleccionar con el botón derecho el elemento

- *Center Graph*: reposiciona el árbol. El elemento seleccionado se centra en la pantalla
- *Reframe on*: el elemento seleccionado se centra en la pantalla
- *Hide/Show*: muestra u oculta el elemento seleccionado
- *Properties*: cambiar el nombre del elemento, grosor de línea, color, etc.
- *Open Sub-Tree*
- *Define In Work Object*: Para cambiar el elemento activo sobre el que se va a trabajar. (aparece subrayado)
- *Parents/Children*: relacion entre operaciones
- *Local Update*: actualiza las operaciones realizadas
- *Replace*

Configuración de visualización del árbol:

Tools>Options>General>Display>Tree Appearance/ Tree Manipulation

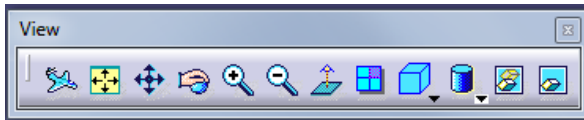
- *Selección de elementos con el navegador*: nos ponemos con el ratón encima de lo que queremos seleccionar y pulsamos una de las teclas de flechas del teclado. La brújula con flechas nos permite movernos por los elementos desde el más cercano al más lejano de la pieza.
- *Seleccionar con la orden Other selection*:
- *Seleccionar un elemento. Botón derecho> Other Selection*. Vemos un árbol con todas las operaciones que podemos seleccionar.
- *Instrucción Search: Menu Edit>Search*
- *Manipulación de elementos con el compás*: se activa con *View>compass*. Seleccionar punto rojo para trasladarlo. Seleccionando un plano y arrastrando movemos los objetos paralelamente al plano. Pulsando las letras vemos la vista correspondiente. Se puede mover un objeto respecto de otro, tienen que estar en *Bodys* diferentes, hay que arrastrar el compás hasta una de las caras de un objeto.

MENU VIEW

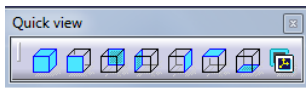
- View
 - *Toolbars*
 - *Commands list*
 - *Geometry*: estando activada se ve todo lo dibujado, desactivada solo el árbol
 - *Specifications F3*: activar/desactivar ver el árbol
 - *Subtrees*
 - *Compass*: activar/desactivar ver al compás
 - *Reset compass*
 - *Tree expansion*: permite elegir el nivel de expansión del árbol
 - *Specifications overview* Shift F2
 - *Geometry overview*
 - *Fit all in*: ver todos los objetos dibujados
 - *Zoom area*
 - *Zoom in out*: ampliación dinámica
 - *Pan*: desplazamiento paralelo por la pantalla
 - *Rotate*
 - *Modify*
 - *Fly through*
 - *Walk through*
 - *Accelerate*
 - *Decelerate*
 - *Previous view*
 - *Next view*
 - *Look at*
 - *Turn head*
 - *Zoom in*
 - *Zoom out*
 - *Normal view*
 - *Named views*
 - *Render style*: estilo de sombreado. Con *Customize View* personalizar. Ejemplo *Shading-Triangles* genera un mallado
 - *Navigation mode*
 - *Examine*
 - *Walk*
 - *Fly*
 - *Viewpoint snapping*
 - *Multi-view customization*
 - *Lighting*: configurar la iluminación de la pieza
 - *Depth effect*: región de visualización entre dos planos paralelos
 - *Ground*: rejilla paralela al plano horizontal. Lo movemos con el ratón

- *Magnifier*: genera una ventana de ampliación de la pieza
- *Hide/show*
 - Hide/show
 - Swap visible space
- *Full screen*: vista de la pieza a pantalla completa sin las barras de herramientas

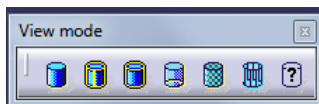
PALETA VIEW



PALETA QUICK VIEW mismas opciones que *Menu View>Named Views*



PALETA VIEW MODE mismas opciones que *Menu View>Render Style*



PALETA SELECT



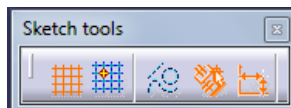
- *Select*: selección individual de objetos
- *Selection trap above geometry*:
- *Rectangle Selection trap*: selecciona elementos completamente dentro de la ventana
- *Intersecting Rectangle selection trap*: selecciona elementos completamente dentro de la ventana y en su intersección
- *Polygon selection trap*: selecciona elementos dentro de una poligonal (doble click izquierdo para cerrarlo)
- *Free hand selection trap*: selecciona elementos por los que cruza la línea dibujada a mano
- *Outside rectangle selection trap*: selecciona elementos completamente exterior a ventana
- *Outside Intersecting rectangle selection trap*: selecciona elementos exteriores a la ventana y en su intersección

7.2.2 MÓDULO SKETCHER

Configurarlo: Tools>Options>Mechanical Design>Sketcher.

- *Grid: Allow distortions:* modificar el tamaño de la rejilla de forma distinta horizontal y vertical
- *Sketch plane*
- *Geometry*
- *Constraint: SmartPick:* muestra elementos con una determinada posición geométrica
- *Colors*
- *Update*

PALETA SKETCH TOOLS



Sirve para introducir datos al activar otras herramientas. *Construction/Estandar Element:* Al activarla dibuja objetos de construcción (no se puede trabajar fuera del Sketcher con ellos)

PALETA LINE



Casos particulares de definición de recta:

1. Trazar una recta cuya longitud es igual al de otra
 - Creamos una recta (sin dar el punto final)
 - Colocarse sobre la recta cuya longitud queremos copiar. Botón derecho, *Parameters>Copy Length*
2. Crear una recta que forme un ángulo dado con otra
 - Crear una recta (sin dar el punto final)
 - Colocarse sobre la recta que queremos tomar de referencia de ángulo, botón derecho, *Parameters>Set as Angle Reference*
 - Introducir el valor del ángulo en la barra de herramientas

PALETA CIRCLE



- *Circle: Centro>radio*
- *Three point circle:*
 - *Pto1>Pto2>Pto3*
 - *Pto1>Pto2>Radio*
- *Circle using coordinates*
- *Tritangent circle*
- *Three point arc: Pto inicio>Pto paso>Pto final*
- *Three point arc starting with limits: Pto inicio>Pto final>Pto paso*
- *Arc*
 - *Centro>Pto inicio>Pto final*
 - *Radio>angulo con el eje horizontal **A***
 - El pto final puede ponerse con coordenadas cartesianas o por el ángulo de barrido **S**, positivo en contra a las agujas del reloj.

PALETA CONIC



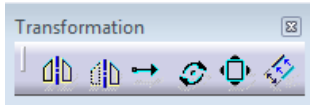
- *Ellipse: Centro>semieje mayor>Pto de paso*
- *Parabola by focus: Foco>vértice>Pto inicio>Pto final*
- *Hyperbola by focus: Foco>centro>vértice>Extremos inicial y final*
- *Conic:*
 - *Conica definida por 5 puntos de paso: Sketch tools>Five points: Pto inicio>extremo final>3 pto de paso intermedios*
 - *Cónica mediante puntos de paso y la tangente a uno de ellos:*
 - *Cónica dados 2 puntos, las tangentes en ellos y el valor del parámetro de la cónica: Sketch tools>Four points: seleccionar pto de paso intermedios*

PALETA RELIMITATIONS



- *Trim all: recorta o alarga el elemento seleccionado*
- *Close: cierra arcos, elipses, etc creados parcialmente*
- *Break: rompe un elemento en dos partes iguales*
- *Quik Trim: borrar*
- *Complement: dibuja el arco complementario*

PALETA TRANSFORMATION



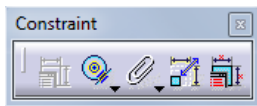
- *Mirror*: copia simétrica
- *Symmetry*:: no conserva el original.
 - Selección objeto>icono simetría>seleccioneje simetría
 - Icono simetría>objeto>eje
- *Translate*: copias o desplazamientos de elementos:
 - Selección elemento>icono traslación>Activar o desactivar *Duplicate mode* para hacer traslación o copia
- *Rotate*: copias giradas o rotaciones de elementos seleccionados: *selección elemento>icono>centro rotación>dirección línea referencia>ángulo*
- *Scale*: escalado de elementos: *elemento> icono>origen escala>valor de escala*
- *Offset*: desplazamientos paralelos de elementos: *elemento>icono*


PALETA 3D GEOMETRY



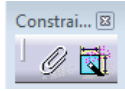
- *Project 3D Elements*: proyección sobre el plano de un elemento exterior al mismo
- *Intersect 3D Elements*: elementos de intersección del objeto 3D con el plano del sketcher
- *Project 3D Silhouettes edge*: proyección del contorno aparente de un objeto 3D

PALETA CONSTRAINT



- *Constraints defined in a dialog box* 
- *Constraint creation 1*
 - Constraints: selección elemento> icono>botón derecho
 - Contact constraint: condiciones de concentricidad, coincidencia y tangencia entre elementos:
 - Pto/recta: coincidencia
 - 2 circunferencias: concentricidad

- 2 rectas: coincidencia
- 2 puntos: coincidencia
- Recta/circunferencia: tangencia
- Pto/otro elemento: coincidencia
- 2 curvas (excepto circunferencia o elipse): tangencias
- 2 elipses: concentricidad

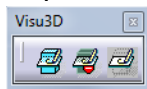


- *Constraint creation 2*
 - Fix together: bloquea los elementos seleccionados como un todo
 - Auto constraint: aplicar condiciones a varios elementos a la vez
- *Animated constraint*: vemos como se modifica un elemento variando su cota de forma animada
- *Edit multi-constraints*: editar a la vez todas las condiciones aplicadas a un sketch

PALETA VISUALIZATION



- *Cut part by sketch plane*
- PALETA VISU3D: controlar la visualización de los sketches respecto de la pieza 3D



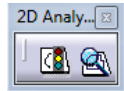
- Usual: opción por defecto. Visualizar todas piezas fuera del plano del sketch
- Low light: visualiza geometría 3D con baja intensidad. No pueden seleccionarse operaciones 3D
- No 3D background: solo se visualiza el sketch
- *Diagnosis*: conmuta la visualización o no de los colores de diagnóstico en el sketcher
- *Dimensional y geometrical constraints*: conmuta la visualización o no de las condiciones geométricas y dimensionales en el sketcher

PALETA TOOLS



Modifica algunas características del sketch

- *Create Datum*: independizar de cualquier elemento de su trazado.
- *Only current body*: conmuta la visualización entre todos los cuerpos o solamente el *body* activo
- *Output feature*: para indicar que sean accesibles elementos del sketch posteriormente en operaciones 3D. selección *icono*>*elementos que queramos*. Solo se puede seleccionar elementos geométricos elementales.
- *Profile feature*: similar a la anterior salvo que sí podemos seleccionar elementos de un perfil con diferente tipo de continuidad.



- PALETA 2D ANALYSIS:
 - Sketch solving status: analizamos si el perfil está bien definido
 - Sketch analysis: análisis detallado de todos los elementos del sketch

7.2.3 MÓDULO PART DESIGN

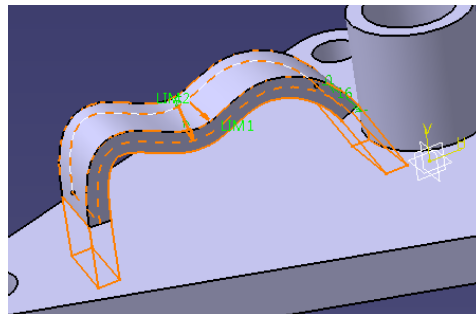
PALETA SKETCH-BASED FEATURES



PALETA PADS



- **Pad:** hace extrusiones a partir de un boceto. Opciones:
 - *First limit* (LIM1) plano superior de la pieza
 - *Second limit* (LIM2) plano inferior (el del boceto por defecto)
 - *Mirrored extent:* extensión simétrica respecto al plano del boceto
 - *Reverse direction:* cambia la dirección de la extrusión
 - *Normal to profile:* indica la dirección de la extrusión
 - *Extrusion con espesor:* hacemos un perfil abierto, *Icono Pad>Thick*. Ponemos espesor a ambos lados del perfil. *Neutral fiber:* espesor simétrico del perfil. *Merge ends* alarga la curva hasta la primera cara que se encuentre.



- **Drafted Filleted Pad:** extrusion con ángulo de desmoldeo. *Draft angle:* ángulo de desmoldeo. *Fillets:* redondeos de las paredes verticales (*Lateral radius*). *Neutral elements:* cuál de los dos queremos que mantenga sus dimensiones.
- **Multi pad:** varias extrusiones con diferentes longitudes

PALETA POCKETS

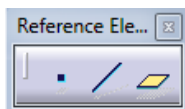
- **Shaft:** genera un sólido de revolución. Perfil + eje de revolución. *First angle* (LIM1) y *Second angle* (LIM2) definen el ángulo final de barrido respecto de la posición del perfil.
- **Groove:** vaciado de revolución
- **Rib:** hacer un sólido a partir de una sección y una trayectoria.

- *Keep angle*: mantiene constante el ángulo entre el plano del perfil y la tangente a la curva
- *Pulling direction*: desplaza el perfil según una dirección dada por la normal a un plano
- *Reference surface*: desplaza el perfil según una curva contenida en una superficie

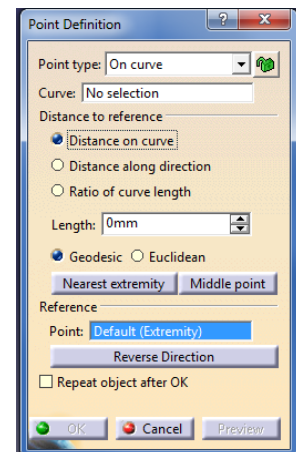


- *Stiffener*: realiza nervios entre dos caras.
From side: necesita un perfil normal a las superficies sobre las que se crea el refuerzo. *From top*: se hace el nervio a partir de unas curvas contenidas en un plano paralelo a la superficie.
- *Solid combine*: realizar un sólido como intersección de la extrusión de dos perfiles.
- *Multi-sections solid*: realiza un sólido definido por diferentes secciones intermedias a lo largo de una curva. Utilizado para hacer carenados.

PALETA REFERENCE ELEMENTS

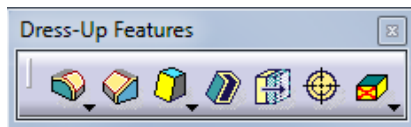


- Point
 - *Coordinates*: por coordenadas
 - *On curve*:
 - *Distance to reference*:
 - *Distance on curve*: definido sobre la curva
 - Geodesic: parámetro arco de curva
 - Euclidean: distancia mínima entre el punto de referencia y el punto a definir
 - Nearest extremity: extremo de la curva
 - Middle point: punto medio
 - *Distance along direction*:
 - *Ratio of curve length*: permite definir la distancia sobre la curva como cociente entre la posición deseada y la longitud total de la misma medida desde el punto de referencia seleccionado
 - *Reference* : botón derecho > create point, midpoint, projection...
 - *Repeat object after Ok*: para seguir utilizando la herramienta sobre la misma curva
 - *On plane*:




- *Circle/sphere center:*
- *Tangent on curve:*
- *Between:*
- Line
- Plane

PALETA DRESS-UP FEATURES

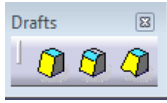


PALETA FILLET



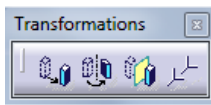
- *Edge fillet:* redondeo de radio constante. Para seleccionar varios elementos botón  . En *Selection mode* decimos cómo se extenderá el redondeo en los elementos adyacentes: *Tangency*, *Minimal...* en *Tangency*, la opción *Trim ribbons* permite que si los redondeos se solapan, se recorten en la intersección. *Edge(s) to keep:* podemos seleccionar las caras que no queremos que se modifiquen al redondear elementos anexos que les pueden afectar. *Limiting elements:* podemos limitar el redondeo por un plano o una cara. *Blend corner* para modificar el redondeo de los vértices distinto al de las aristas que concurren en él. *Setback distance* valor del redondeo del vértice.
- *Variable Radius fillet:* permite definir los radios de redondeo en puntos intermedios. Hay que crear los puntos previamente. *Circle Fillet* cuando queremos que el redondeo se comporte de la misma forma aunque no se tenga continuidad en tangencia.
- *Face-face fillet:* en el caso de que no existan intersecciones entre las caras. *Hold curve* para definir una curva de variación. *Spine* las secciones intermedias del redondeo son perpendiculares a la spine.
- *Tritangent fillet:* se redondean dos caras y se selecciona una para eliminar (la última).
- *Chamfer*

PALETA DRAFTS

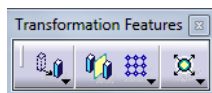


- *Draft Angle*: operaciones de desmoldeo con ángulo constante.
 - *Draft type*: tipo de desmoldeo con angulo constante o variable
 - *Pulling direction*: dirección de referencia a partir de la cual se van a definir las caras de desmoldear (*face(s) to draft*) con un ángulo dado (*angle*).
 - *Neutral element*: elemento que no se modificara
 - *Parting element* : elemento divisor
 - *Limiting element*: limite de la extension de desmoldeo
- *Draft reflect line*: desmoldeos sobre redondeos.
- *Variable angle draft*: como *Draft angle* pero mas sofisticado.
Opcion *Points* a lo largo de la curva neutra
- *Shell*: crea vaciados y elimina caras de una pieza
- *Thickeness*: dar espesor a las caras
- *Thread/Tap*: indica roscados en pieza cilíndricas (parecido a *Hole*)
- *Remove face*: eliminar caras (el objeto resultante sea cerrado)
- *Replace face*: intercambia la cara de un sólido con una superficie

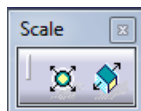
PALETA TRANSFORMATION FEATURES



● PALETA TRANSFORMATIONS

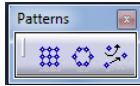


- Translation: traslación de un sólido (*PartBody* o *Body*).
- Rotation:
- Symmetry: respecto a un plano, una recta o un punto.
- Axis to axis:
- *Mirror*
- **PALETA SCALE**



- Scaling:
- Affinity:

- **PALETA PATTERNS**



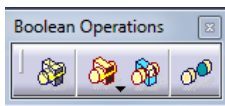
- Rectangular pattern: hay que definir sus dos direcciones (no tienen que ser rectangulares) en la ventana *Reference direction*. Para definir el numero de elementos:
 - Instance &Length: indicar el numero de elementos y la longitud total
 - Instance &Spacing: numero de elementos y espaciado entre ellos
 - Spacing & Length: espaciado entre elementos y longitud total

Position of object in pattern: definir la posición del elemento original mediante su posición en la fila y la columna o mediante *Rotation angle* respecto de la primera dirección.

- Circular pattern;
- User pattern: definimos de forma arbitraria las posiciones donde se sitúen las copias. Hay que tener los puntos en un *sketch* previo.

En estas operaciones los al cambiar el original cambian todos. Para hacerlo de forma individual *Arbol de operaciones*>*Pattern*>*Boton derecho*>*Explode*.

- **PALETA BOOLEAN OPERATION**



Para realizar operaciones entre dos cuerpos de forma sencilla. Todas las operaciones tienen tres campos: *Assemble* indica el *body* que define la transformación, *To* indica el cuerpo principal y *After* posición en el árbol de operaciones de la operación booleana realizada.

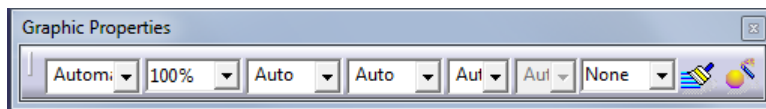
- *Assemble*: para ensamblar dos cuerpos

• **SUBPALETA BOOLEAN OPERATION1**



- Add: las operaciones del cuerpo a unir no modifican al original
- Remove: genera un cuerpo resultante de eliminar un cuerpo sobre otro.
- Intersect: intersección de dos cuerpos.
- *Unión Trim*: unión de dos cuerpos y recortar el primero (*Trim*) por el cuerpo principal (*with*)
- *Remove Lump*: permite eliminar trozos de elementos no deseados sin conexión con el cuerpo principal.

PALETA GRAPHIC PROPERTIES

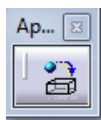


Para modificar la representación gráfica de los elementos:

Color>Grado de opacidad>Grosor>Estilo de línea>representación de los puntos> estilo de renderizado>capa en la que se encuentra el elemento:

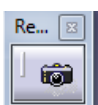
- *None*: el elemento no pertenecen a ninguna capa. Siempre estará visible.
- *0 General*: primera capa creada automáticamente
- *1-999*: capas posibles para crear con *Other Layers*
- *Painter*: copiar las propiedades graficas de un elemento en otro. *Icono>elemento a cambiar>elemento para copiarlo.*
- *Graphic properties wizard*: ver l esquema de todas las propiedades gráficas.

PALETA APPLY MATERIAL



Para aplicar material a una pieza. Botón derecho sobre el material para ver sus propiedades físicas y mecánicas y cambiarlas.

PALETA RENDER



Para realizar el renderizado. Se le puede poner una imagen de fondo

7.3 PROCESO DE MODELADO

El proceso de modelado se inició tomando las medidas sobre el chasis real de la motocicleta una vez que esta se encontraba completamente desmontada. A partir de las medidas obtenidas se comenzó a modelar el chasis, basculante y otras piezas en CATIA V5 utilizando los siguientes módulos de Mechanical Design: Part Design, Assembly Design, Sketcher y Wireframe and Surface Design.

Se partió de la suposición de que el chasis y basculante de la motocicleta están realizados en un acero corriente SAE 1010 laminado en frío ya que este material puede cumplir los requerimientos mecánicos de este tipo de motocicletas. Las propiedades del material elegido son las siguientes:

Propiedades del acero SAE 1010		
	Valor	Unidades
Módulo de Young	$2 \cdot 10^{11}$	Pa
Poisson Ratio	0.266	
Densidad	7860	Kg/m^3
Expansión térmica	$1.17 \cdot 10^{-5}$	Kgdeg
Límite elástico	303	MPa
Resistencia máxima	365	Mpa

Estos valores fueron introducidos en el programa para el posterior análisis por elementos finitos. El espesor de los tubos varió dependiendo de la zona en la que se encontraba, pero oscilando entre 2 y 3 mm.

A continuación se presentan varias figuras de las piezas modeladas por ordenador:



Figura 70. Imagen real de la motocicleta Yamaha SR250

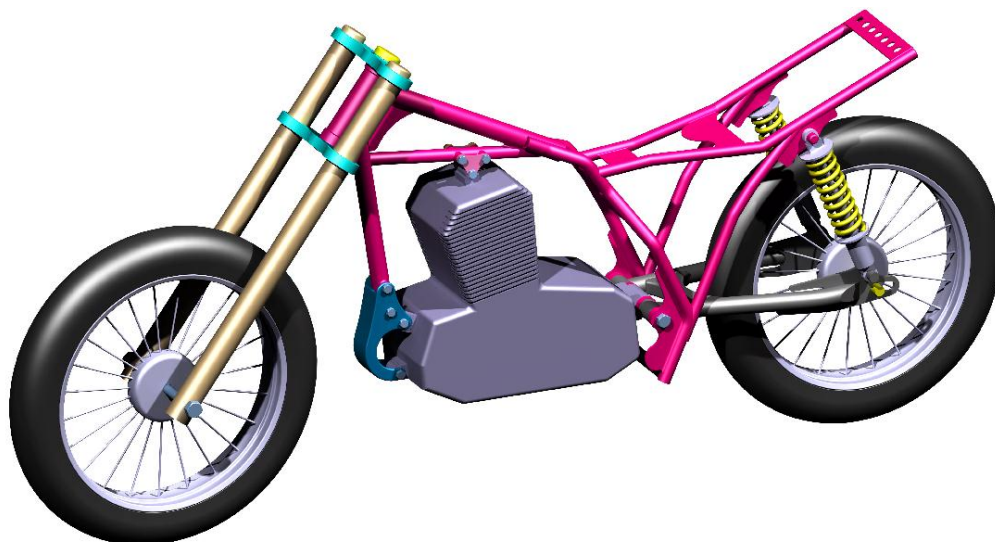


Figura 71. Modelado completo de la motocicleta Yamaha SR250

A pesar de la falta de medios apropiados para la toma de medidas correctas de la motocicleta, se puede observar que el resultado obtenido se aproxima bastante al real.



Figura 72. *Basculante de la motocicleta Yamaha SR250*

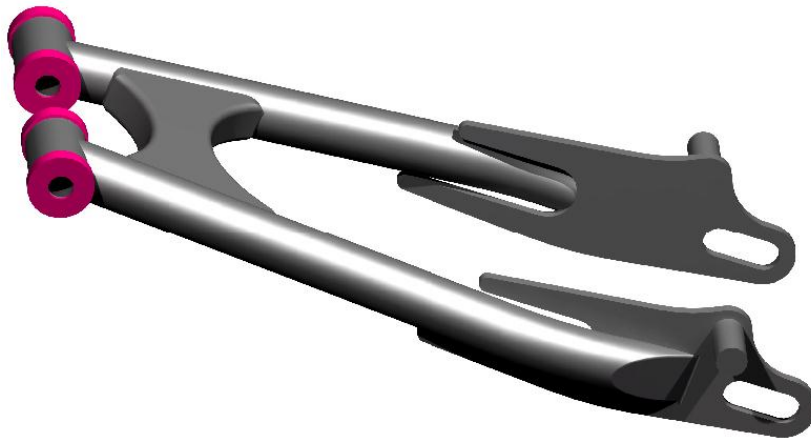


Figura 73. *Imagen virtual del basculante Yamaha SR250*

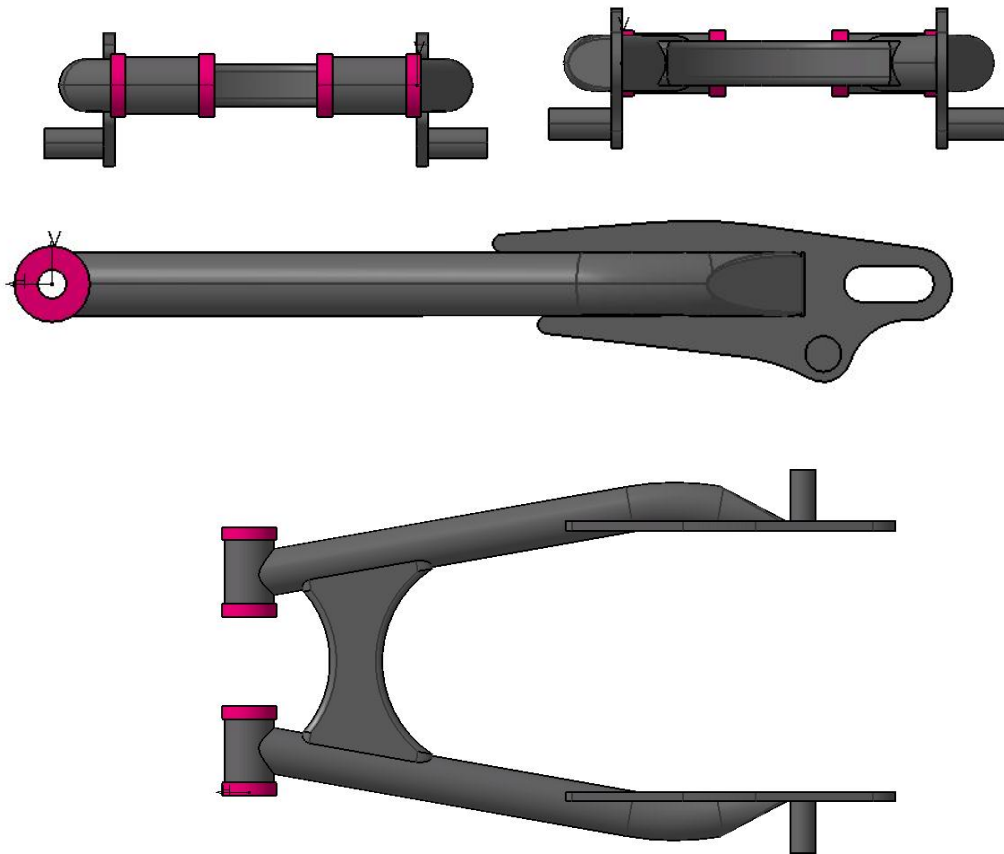


Figura 74. Vistas del basculante inicial



Figura 75. Modelizado de una pieza de unión del chasis al motor



Figura 76. Chasis de Yamaha SR250



Figura 77. Chasis modelizado de Yamaha SR250

En la modelización se han suprimido algunos elementos del chasis irrelevantes a la hora de realizar el posterior análisis del mismo. Como ejemplo se puede apreciar que los tubos que sobresalen de la parte inferior que sirven para fijar el reposapiés del acompañante han sido suprimidos ya que no realizan ninguna función estructural.

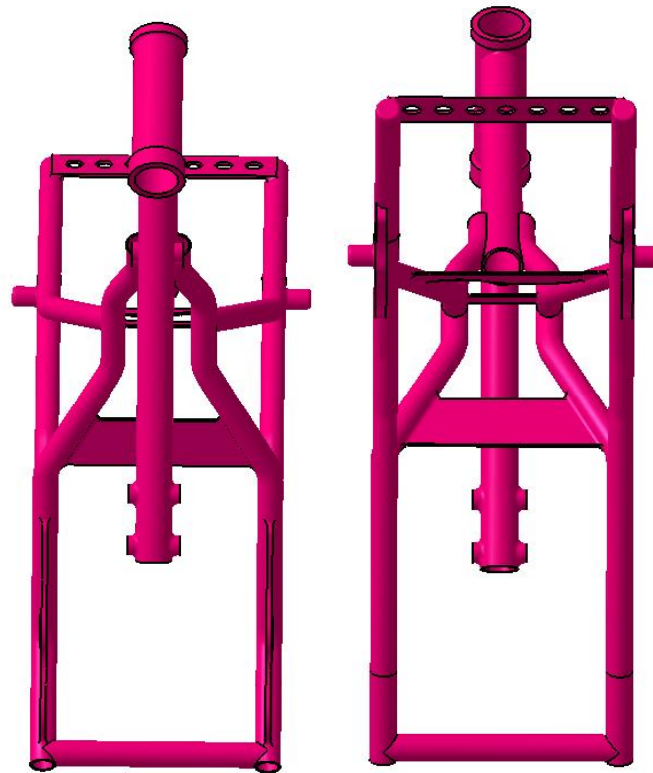


Figura 78. *Vistas frontal y trasera del chasis inicial*

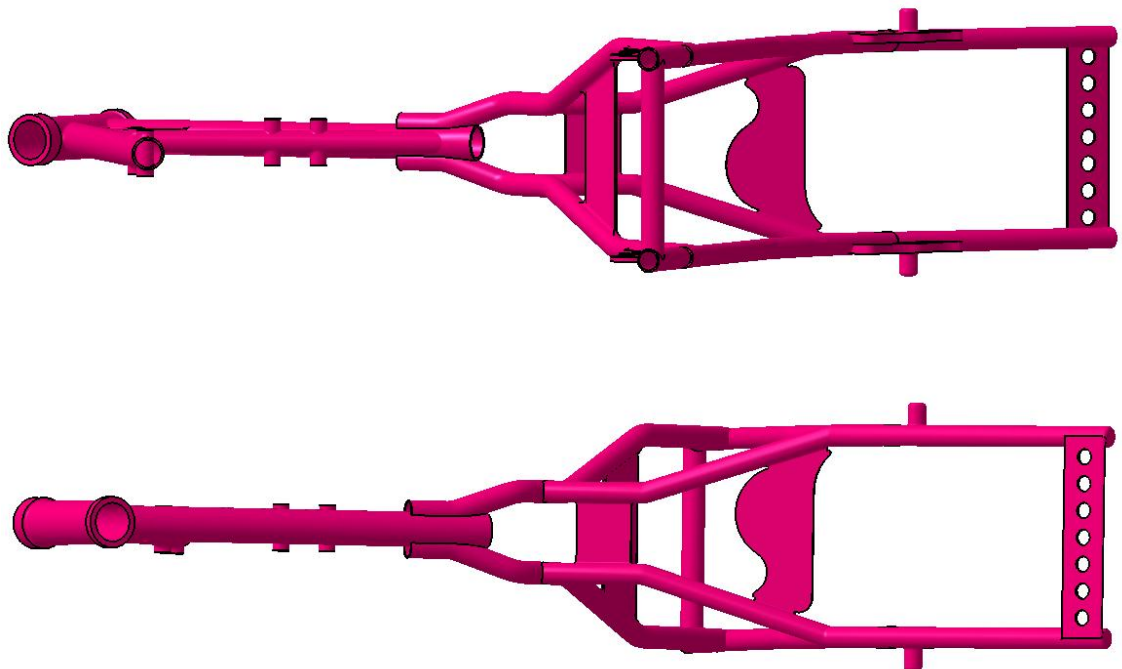


Figura 79. *Vistas en planta e inferior del chasis original*



Figura 80. Explosionado de componentes de la Yamaha SR250

Una vez que se tenía modelada la Yamaha SR en CATIA, se procedió a realizarle virtualmente las modificaciones oportunas. La estructura principal del chasis tipo cuna simple interrumpida seguiría siendo la misma prácticamente, pero para albergar el amortiguador del sistema cantiléver hubo que separar los tubos laterales y acortar el tubo central. La posición de anclaje superior del motor también varía por lo que el refuerzo que lleva la SR hay que sustituirlo y colocarlo más adelante.

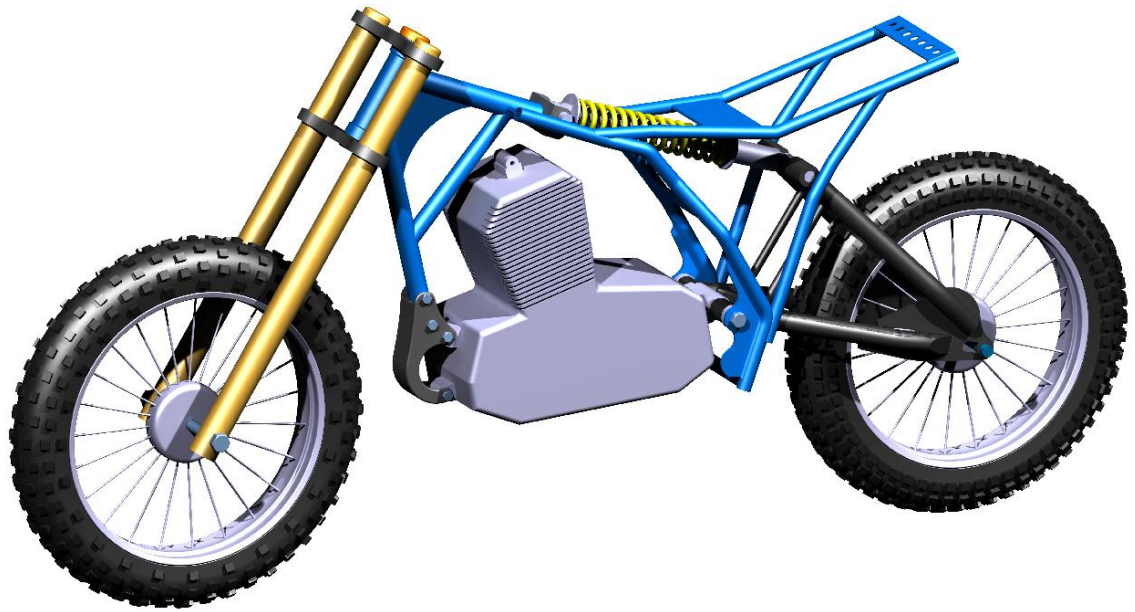


Figura 81. Motocicleta modificada

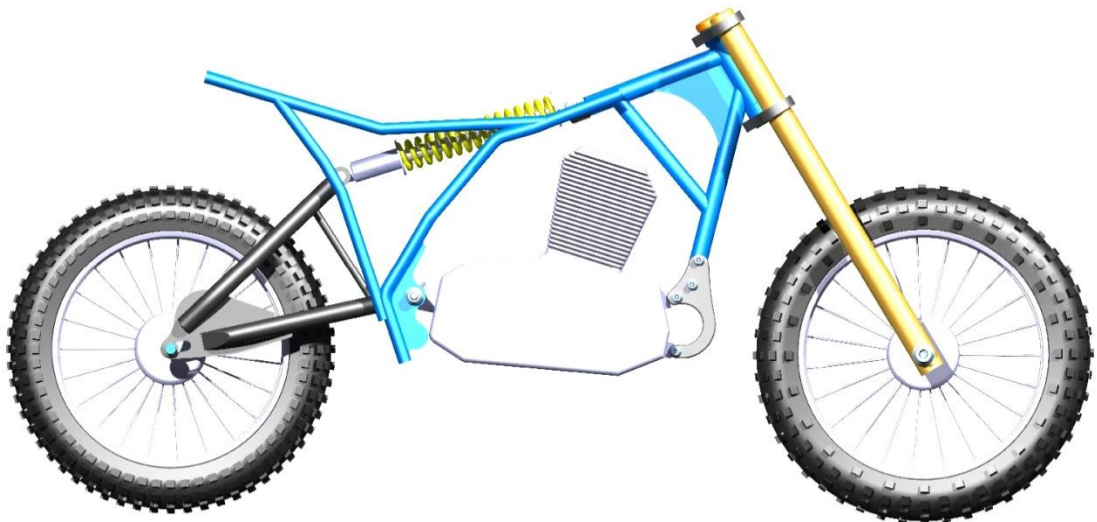


Figura 82. Vista lateral de la moto modificada

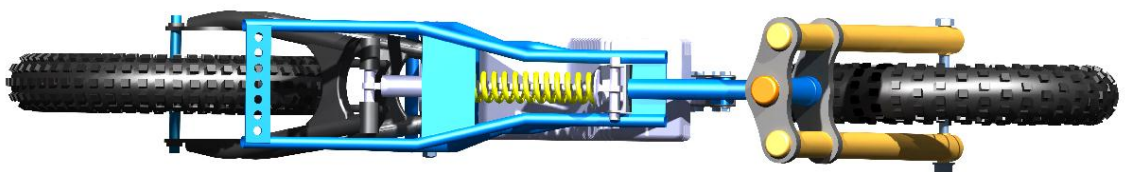


Figura 83. Vista en planta de la modificación



Figura 84. Vista posterior de la moto

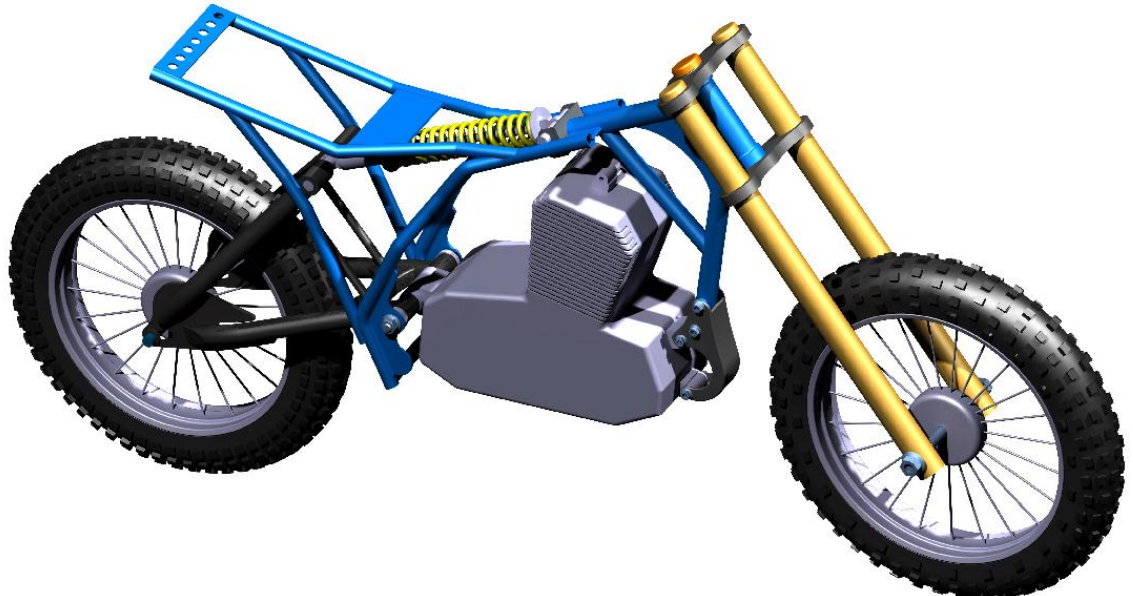


Figura 85. Vista isométrica de la modificación



Figura 86. Varias vistas del nuevo chasis con y sin basculante

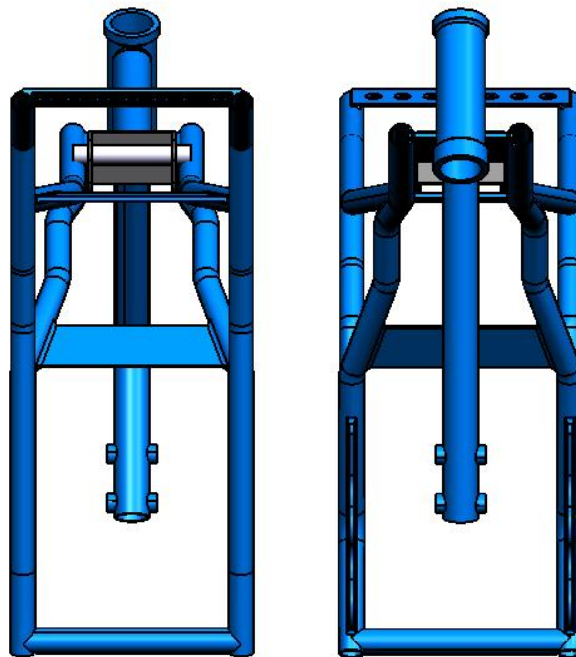


Figura 87. Vistas frontal y posterior del nuevo chasis

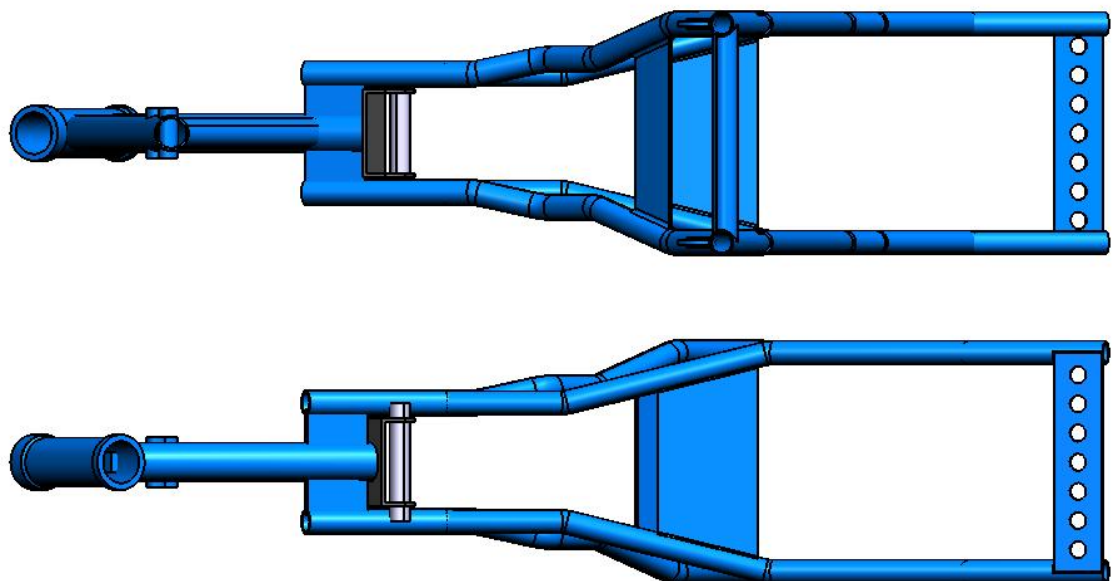


Figura 88. Vistas en planta e inferior del nuevo chasis

El basculante también sufrió modificaciones para anclar el amortiguador central del sistema cantiléver. Para ello se le realizó un refuerzo que sirviera de soporte del eje inferior del amortiguador.

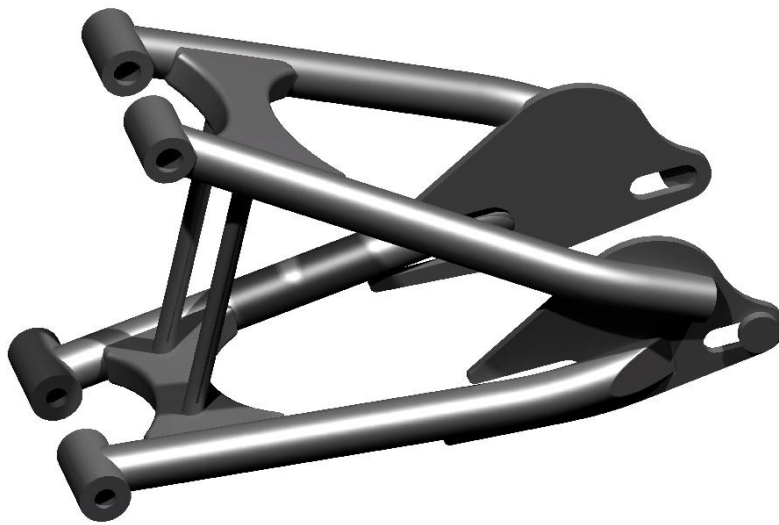


Figura 89. Nuevo basculante

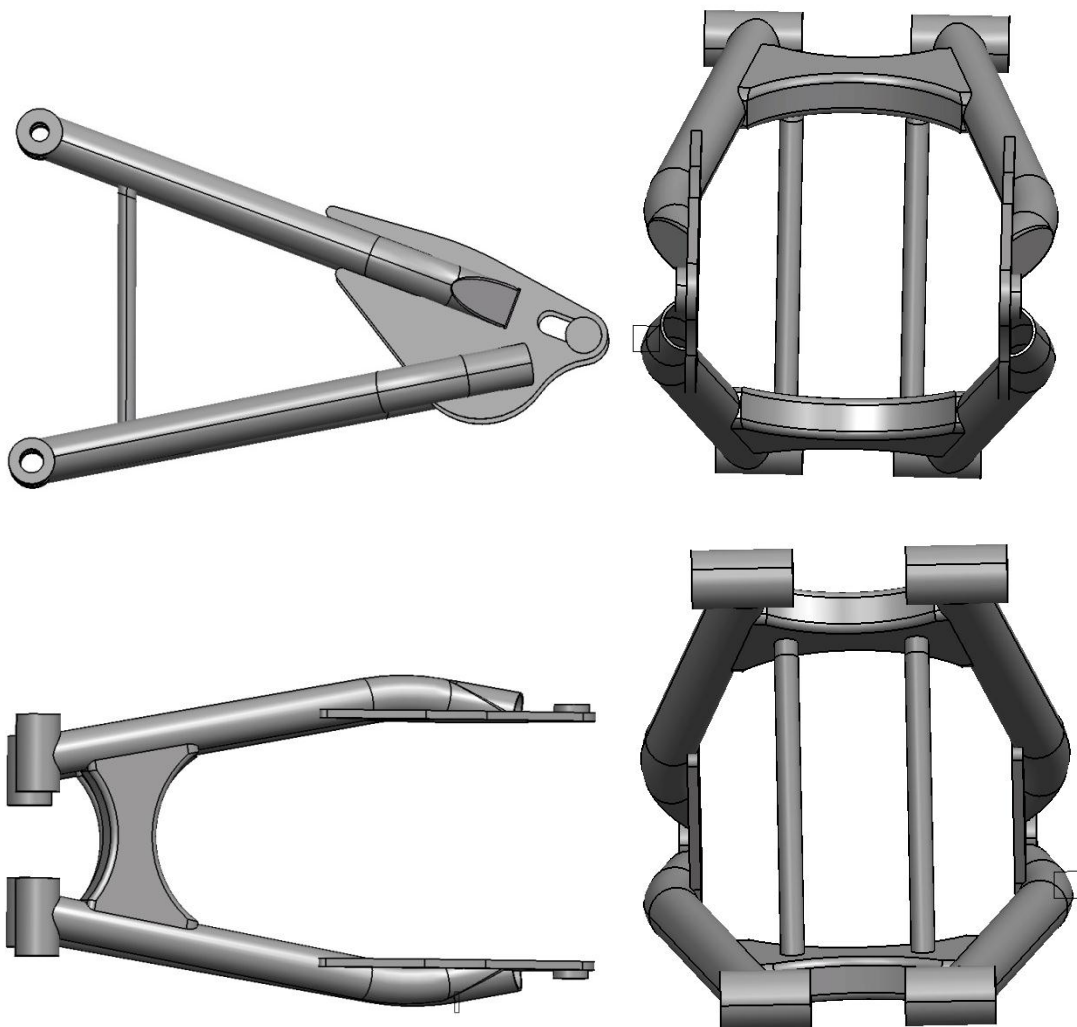


Figura 90. Vistas del nuevo basculante

A continuación se muestra una comparativa entre los dos chasis y los dos basculantes señalando las partes afectadas en la modificación.

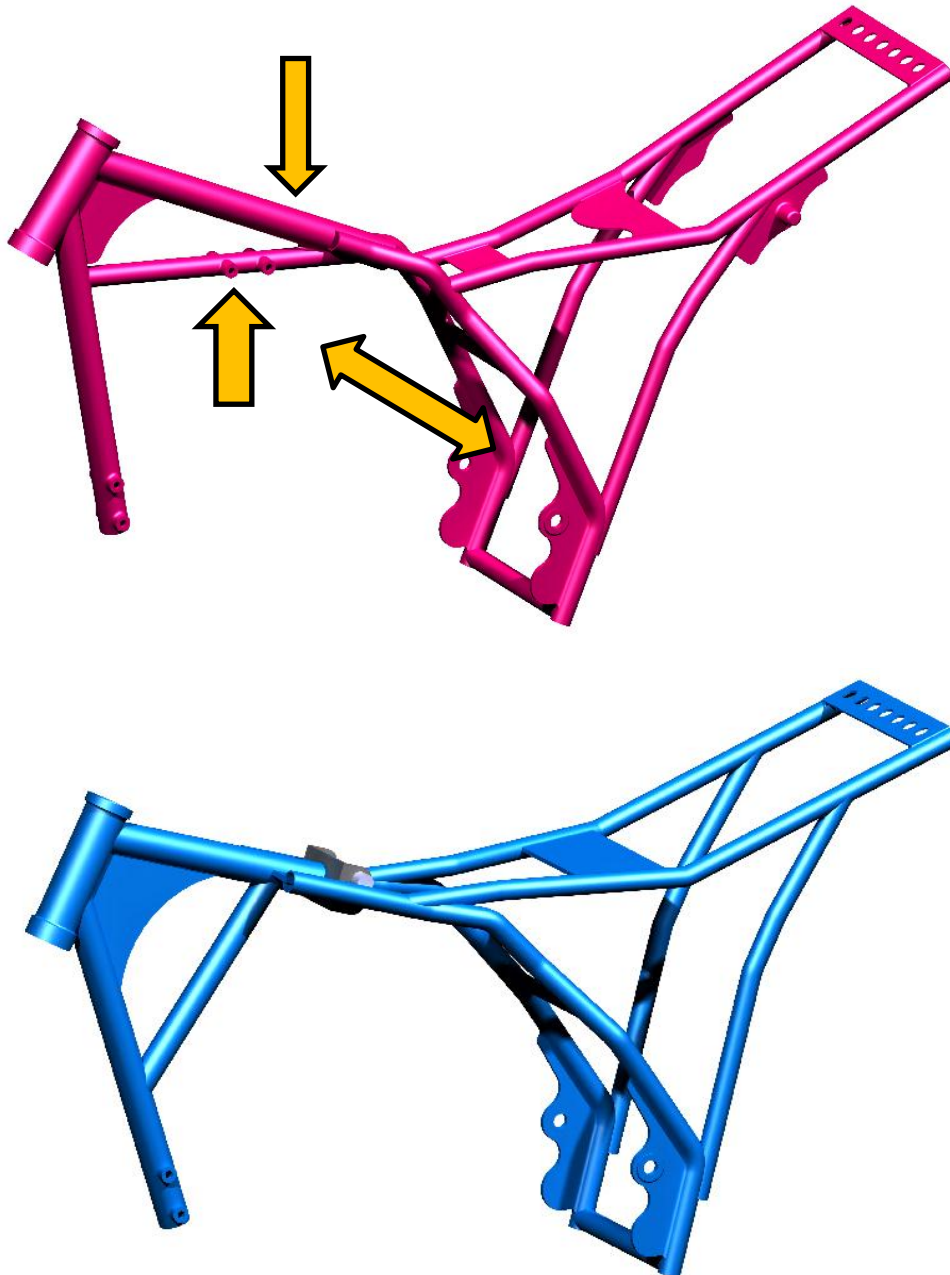


Figura 91. Comparación entre el chasis original y la modificación

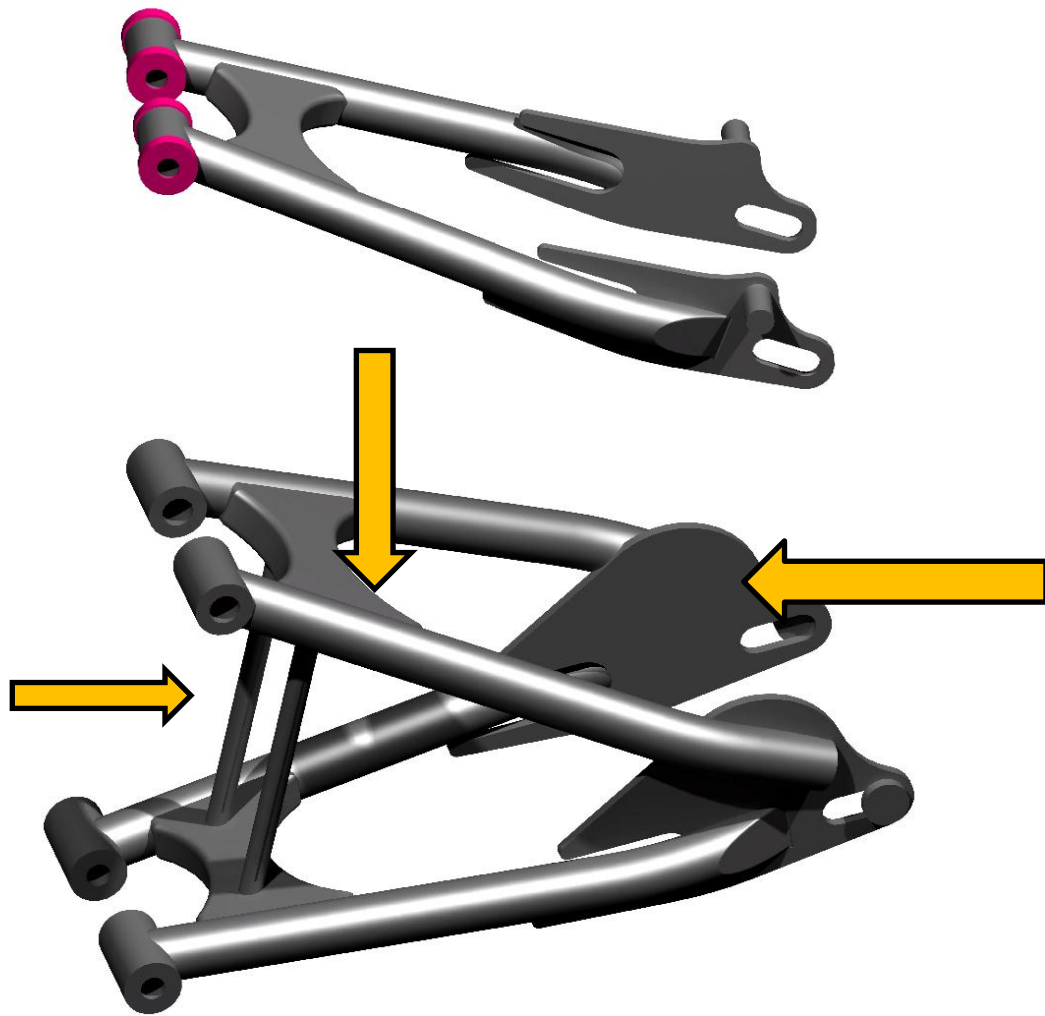


Figura 92. Comparación entre el basculante original y la modificación

8. ANÁLISIS Y SIMULACIÓN

8.1 MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS (MEF)

El MEF consiste en un modelo informático del material o diseño que es tensado y analizado para conseguir resultados específicos. Es usado en el diseño de nuevos productos, y en la mejora de los actuales. Una empresa capaz de verificar un diseño propuesto será capaz de ajustarse a las especificaciones del cliente antes de la fabricación ó construcción. Si tenemos que modificar un producto o estructura existente, podemos usar el MEF para calificar la modificación para unas nuevas condiciones de servicio. En caso de fallo estructural, el MEF nos puede ayudar a determinar el diseño de las modificaciones para ajustarse a las nuevas condiciones.

Hay generalmente dos tipos de análisis que son usados en la industria: modelos en 2D y en 3D. Mientras los modelos en 2D conservan la simplicidad y permiten que el análisis se realice en un ordenador normal, tiende a dar resultados menos precisos. El modelado en 3D, sin embargo, produce resultados más precisos mientras sacrifica la habilidad para funcionar de manera efectiva en cualquier ordenador, menos en los más rápidos. El programador puede insertar numerosos algoritmos ó funciones que pueden hacer al sistema comportarse de manera lineal o no lineal. Los sistemas lineales son menos complejos y normalmente no tienen en cuenta deformaciones plásticas. Los sistemas no lineales toman en cuenta las deformaciones plásticas, y algunos incluso son capaces de testear el material hasta la fractura.

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

Los nodos creados forman una red llamada malla. Esta malla está programada para contener el material y las propiedades de la estructura que definen cómo esta reaccionará ante ciertas condiciones de carga. A los nodos se les asigna una densidad por todo el material dependiendo del nivel de estrés anticipado en un área. Las regiones que recibirán gran cantidad de estrés tienen normalmente una mayor densidad de nodos (densidad de malla) que aquellas que experimentan poco o ninguno. La malla actúa como la red de una araña en la que desde cada nodo se extiende un elemento de

mallá a cada nodo adyacente. Este tipo de red vectorial es la que lleva las propiedades del material al objeto, creando varios elementos.

Los pasos a seguir en el análisis de estructuras mediante el método de los desplazamientos a través del MEF son:

- La pieza se divide, mediante líneas o superficies imaginarias en un número de elementos finitos. Esta parte del proceso se desarrolla habitualmente mediante algoritmos incorporados a programas informáticos de mallado durante la etapa de preproceso.
- Se supone que los elementos están conectados entre sí mediante un número discreto de puntos o nodos situados en sus contornos. Los desplazamientos de estos nodos serán las incógnitas fundamentales del problema, tal y como ocurre en el análisis simple de estructuras por el método matricial.
- Se toma un conjunto de funciones que definan de manera única el campo de desplazamientos dentro de cada elemento finito en función de los desplazamientos nodales de dicho elemento.
- Estas funciones de desplazamientos definirán entonces de manera única el estado de deformación del elemento en función de los desplazamientos nodales. Estas deformaciones, junto con las propiedades constitutivas del material, definirán a su vez el estado de tensiones en todo el elemento, y por consiguiente en sus contornos.
- Se determina un sistema de fuerzas concentradas en los nodos, tal que equilibre las tensiones en el contorno y cualesquiera cargas repartidas, resultando así una relación entre fuerzas y desplazamientos de la forma $F = k \cdot u$.
- La resolución del sistema anterior permite obtener los desplazamientos en los nodos y con ellos definir de manera aproximada el campo de desplazamientos en el elemento finito.
- En la etapa de postproceso se presentan los resultados, generalmente de forma gráfica para su análisis.

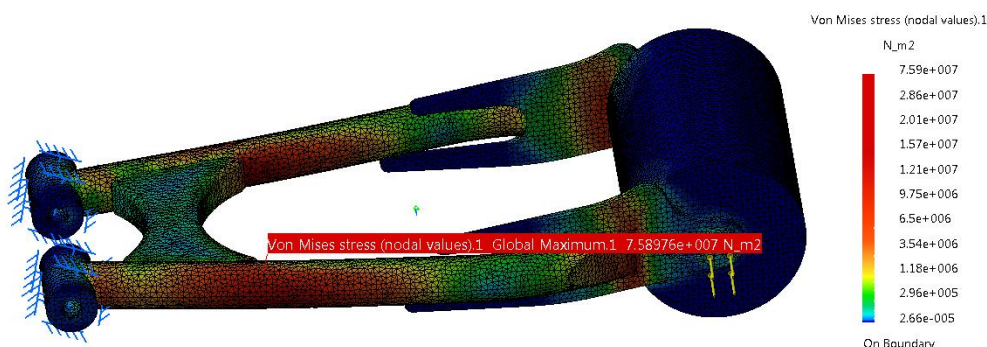


Figura 93. Representación típica de MEF

8.2 FUNCIONAMIENTO DEL SOFTWARE

Con el fin de llevar acabo los análisis descritos anteriormente sobre las piezas iniciales de la motocicleta y su posterior modificación se utilizará el módulo Analysis & Simulation del propio software CATIA V5. Se trata de un módulo que permite el análisis por elementos finitos de modelos solidos creados en sistema CAD. No es el mejor programa para ello puesto que en el mercado hay software exclusivos para realizar estudios por elementos finitos mucho más completos pero ello requiere de unos grandes conocimientos específicos de la materia y de ordenadores más potentes.

Sin embargo se utilizará este módulo para comprobar si los resultados obtenidos son coherentes con el comportamiento de las piezas originales y, en caso de serlo, se dará por bueno para el análisis de las piezas modificadas.

El método de análisis que utiliza el programa para realizar el cálculo se basa en el método de los nudos, descomponiendo los cuerpos en pequeños octaedros en los que calcula las sollicitaciones en cada punto. De esta manera se puede extrapolar el resultado a la pieza en su conjunto. Pero además de los valores numéricos que calcula el programa en la simulación, lo más significativo para entender el comportamiento que siguen las piezas al aplicarles fuerzas es la representación tridimensional y a color de las tensiones y deformaciones. Esto da una idea rápida al diseñador de cómo se comportará la pieza en cuestión

Previamente a la simulación el dibujo tiene que estar completamente finalizado y formar parte de un único Part para que el programa no de errores de cálculo. Una vez finalizado hay que aplicarle el material del cual estará hecha la pieza y las condiciones de contorno a las que estará sometido: fuerzas y anclajes.

8.3 MALLADO DEL MODELO

Una vez que el proceso de modelado y ensamblado de los componentes estaba finalizado se procedió a realizar el mallado de las piezas en el módulo de simulación. Para poder obtener mejores resultados sin que ello afecte a la capacidad de gestión del ordenador se ha elegido un tamaño octaédrico de 4mm para todas las piezas a analizar.

A continuación se muestran algunos ejemplos del mallado donde se puede apreciar el elevado número de octaedros.



Figura 94. Mallado del chasis modificado

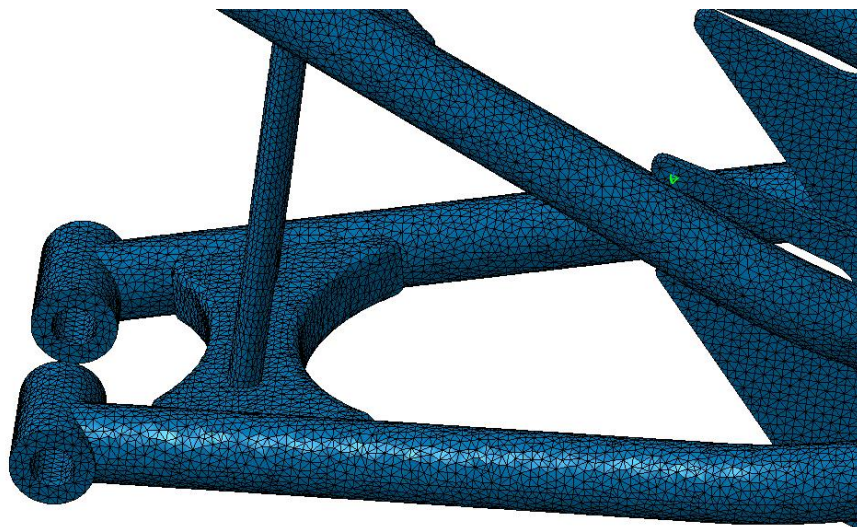


Figura 95. mallado del basculante modificado

8.4 SIMULACIONES

Para poder aplicar el par de fuerzas en la pipa de dirección se realizó un ensamblaje de una pieza sobre la cual se aplicaría la fuerza. Esta pieza auxiliar es necesaria para que la fuerza se transmita de forma homogénea al chasis simulando el tornillo de la pipa de dirección. La pieza es sólida para que sea capaz de transmitir la completamente la fuerza recibida al resto de componentes del chasis. La fuerza se ejercerá sobre sus cara interiores.

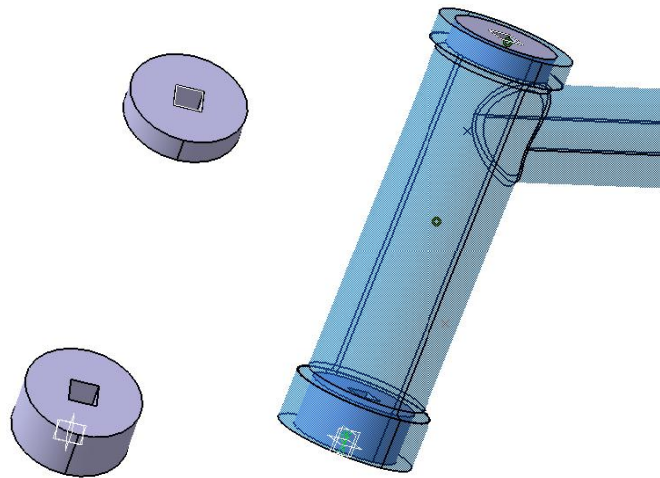


Figura 96. Pieza especial para la pipa de dirección

Para aplicar la fuerza sobre el basculante también se colocó una pieza auxiliar que simularía el tornillo del eje de la rueda trasera para que el esfuerzo se transmita en ese punto. Para simular que la rueda trasera está colocada y que la fuerza ejercida lateralmente sobre el basculante se distribuya correctamente se ensambló un sólido cilíndrico en el eje. Así, al aplicarle la fuerza el basculante no se doblará hacia el interior.

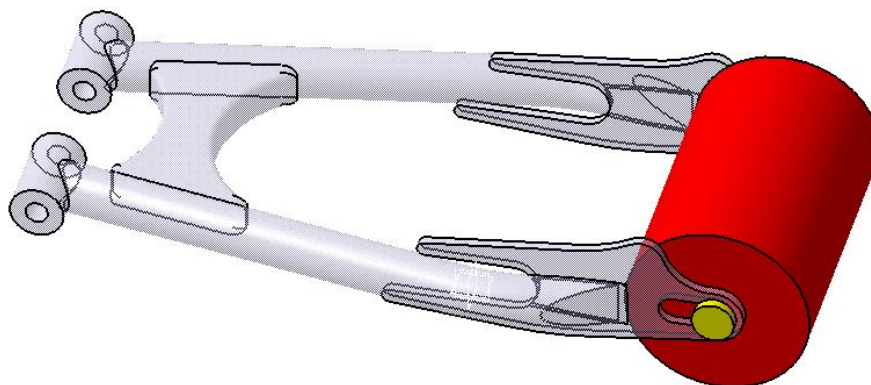


Figura 97. Piezas especiales para el basculante

También se colocó una pieza especial en el tubo central del chasis modificado para poder aplicar en ese punto la fuerza que ejerce el amortiguador sobre dicho tubo.

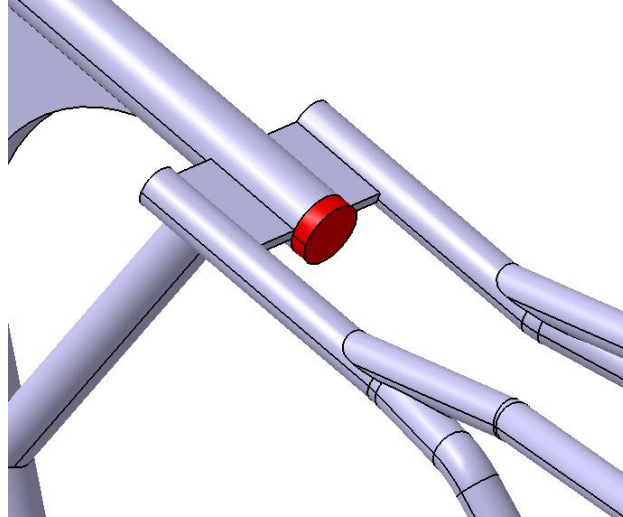


Figura 98. Pieza especial para el tubo central

Una vez que las piezas estaban terminadas y el mallado realizado, se procedió a la aplicación de las restricciones y las fuerzas.

8.4.1 ESFUERZOS EN FRENADA MÁXIMA EN CHASIS

Lo primero que hay que indicar al programa para realizar la simulación es dónde se colocan las restricciones. En este caso se realizó un empotramiento del chasis en los puntos de los cuales va anclado el motor. Esto es así puesto que al trabajar el motor como elemento estructural, tiene una rigidez muy superior al resto de componentes del chasis y se considera prácticamente indeformable.



Figura 99. Empotramientos del chasis

Simulando el esfuerzo que soporta la pipa de dirección en particular y el chasis en general, se sometió a los dos chasis a un par de fuerzas aplicado en el punto medio de la pipa de 5574.2 N.

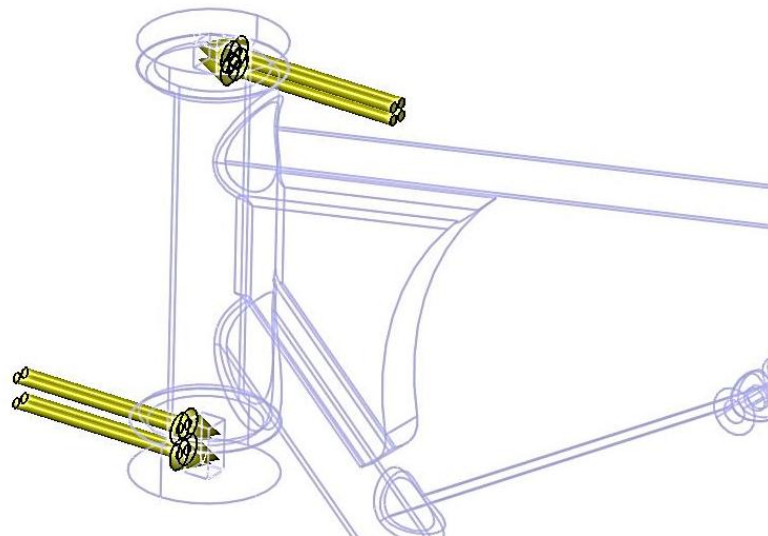


Figura 100. Aplicación de las fuerzas

Con estos parámetros se procedió a realizar los cálculos en los dos chasis.

8.4.1.1 CHASIS INICIAL

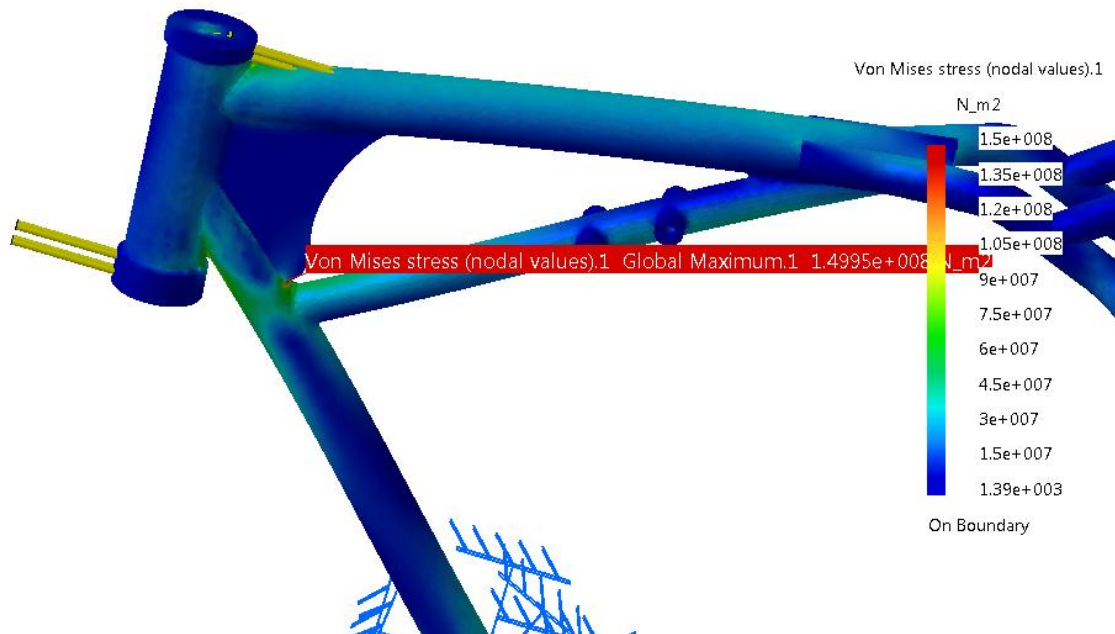


Figura 101. *Nodo de máxima tensión en chasis original*

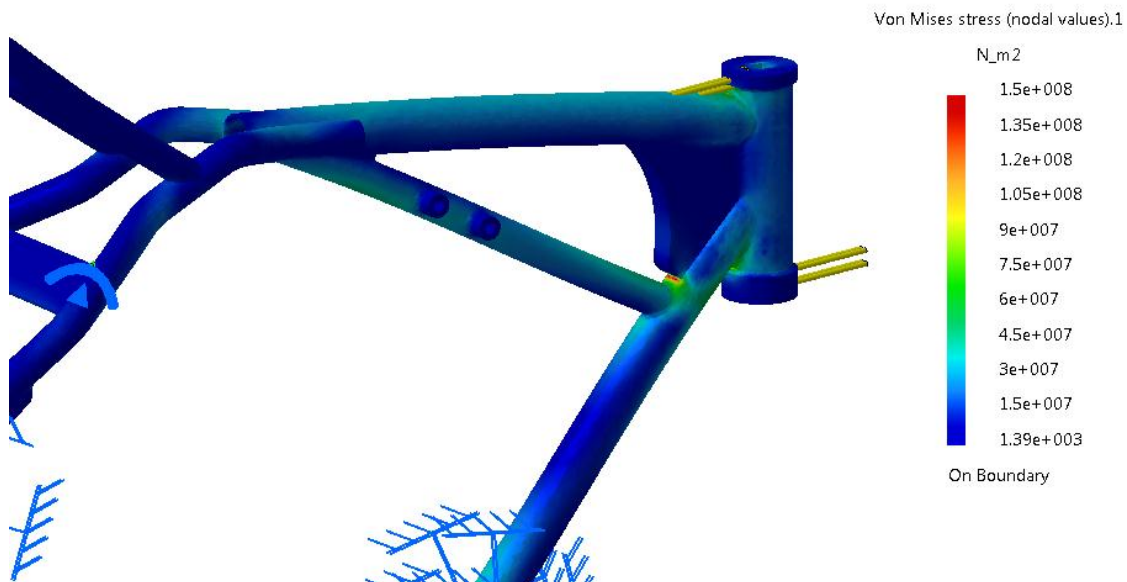


Figura 102. *Vista de tensiones de Von Mises*

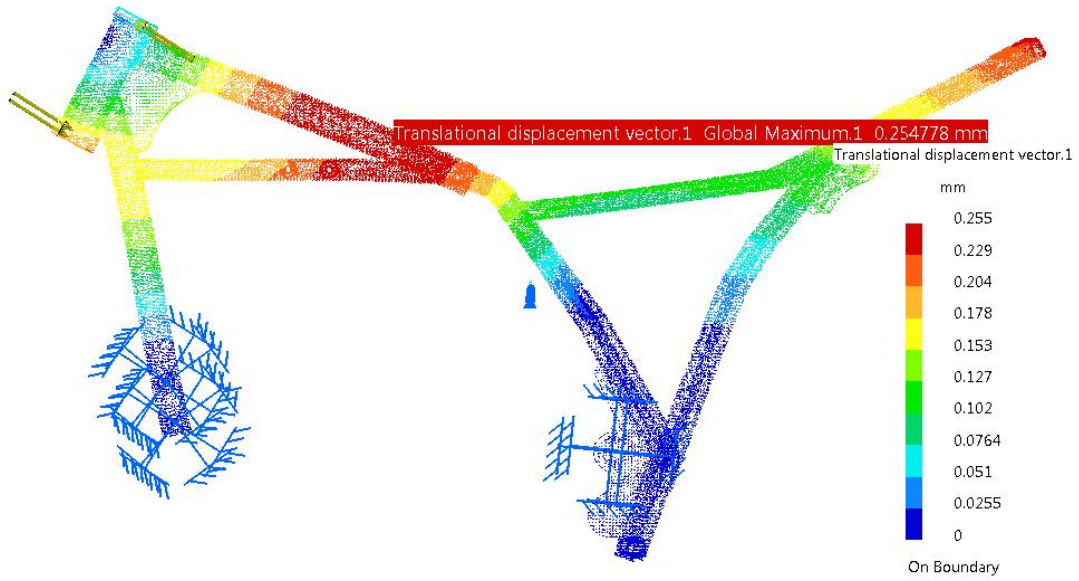


Figura 103. *Nodo de desplazamiento máximo*

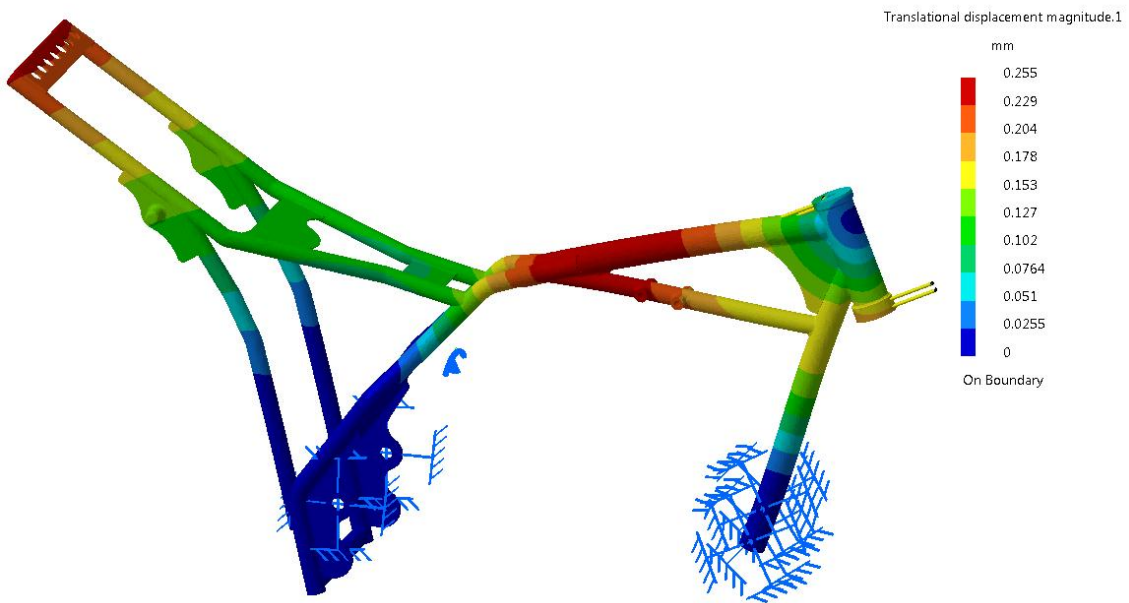


Figura 104. *Rango de desplazamientos*

8.4.1.2 CHASIS MODIFICADO

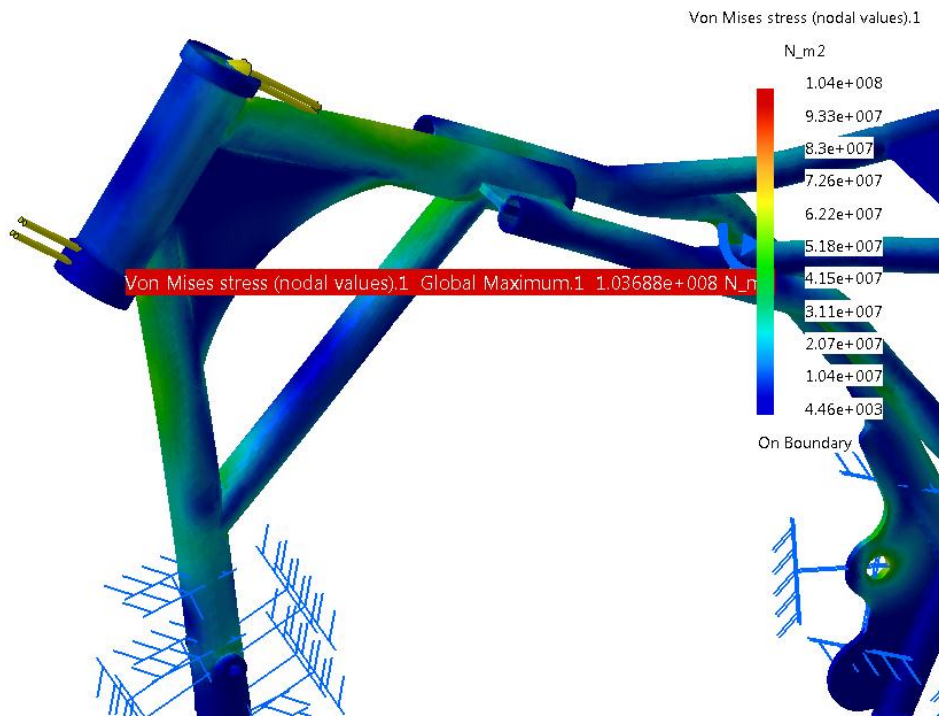


Figura 105. *Nodo de máxima tensión*

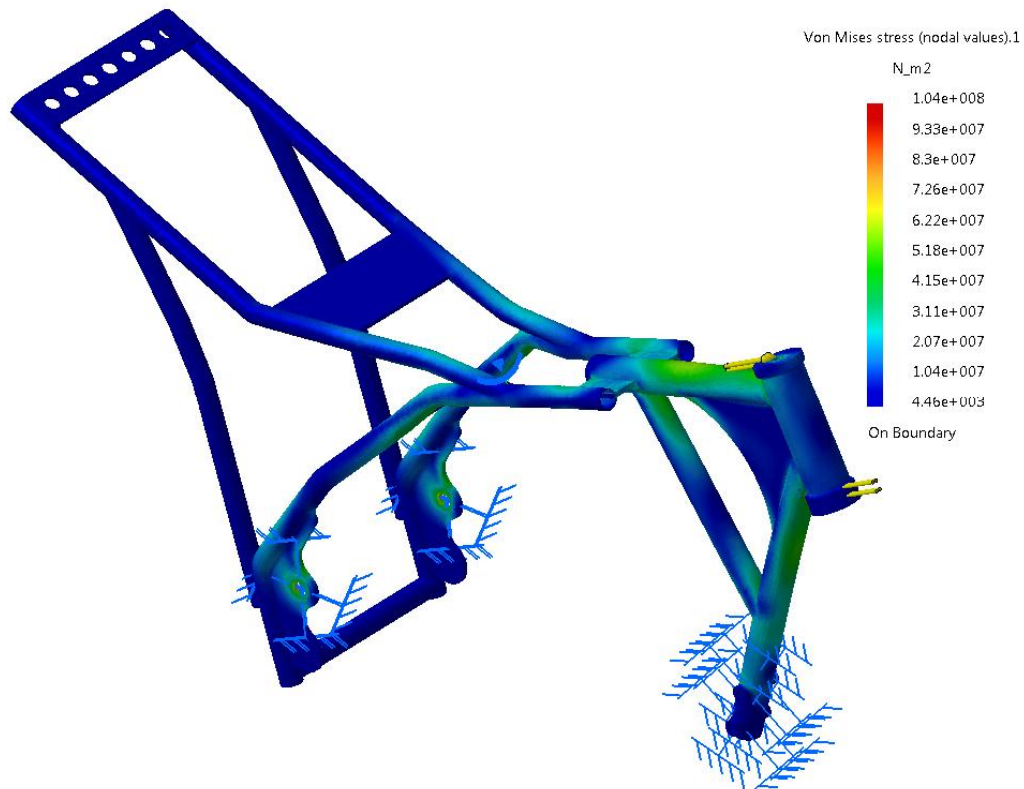


Figura 106. *Estado tensional del chasis*

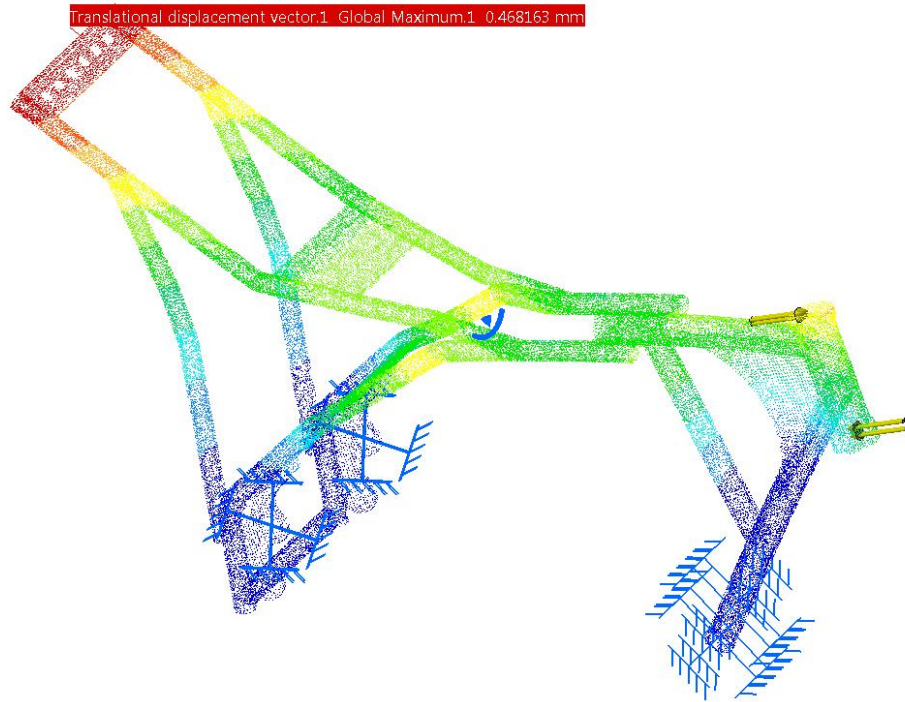


Figura 107. Desplazamiento máximo

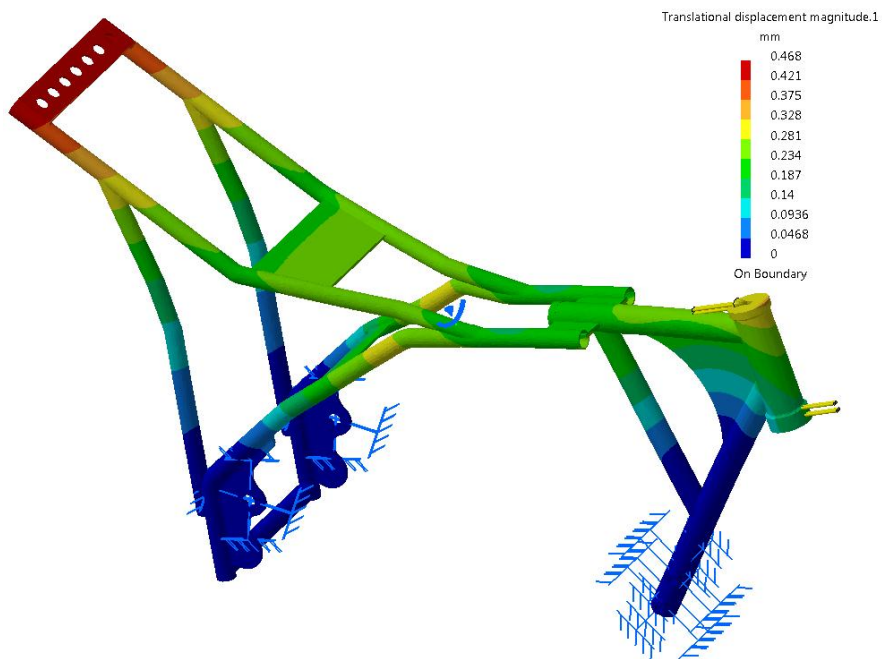


Figura 108. Rango de desplazamientos

8.4.1.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la simulación hecha por el ordenador se puede apreciar que en el caso del chasis original la tensión máxima está localizada debajo del refuerzo de la pipa de dirección. Esto sabemos que es debido a la unión de esa pieza y al concentrador de tensiones que tiene por lo que realizando una buena soldadura se resolvería.

El mismo problema ocurre con el chasis modificado. Los valores de las tensiones máximas son inferiores al límite elástico del material en ambos casos con unos coeficientes de seguridad de 2.02 y 2.94 respectivamente.

En cuanto a los desplazamientos el chasis modificado tiene un desplazamiento mayor pero está localizado en el extremo del chasis por lo que no es relevante.

8.4.2 ESFUERZOS EN CURVA EN CHASIS

En este caso las restricciones indicadas al programa son las mismas que en el caso anterior, esto es, en los puntos de anclaje del motor al chasis. Sin embargo el punto de aplicación de las fuerzas cambia ya que ahora en lugar de aplicarlas en el eje longitudinal del chasis se aplican transversalmente.

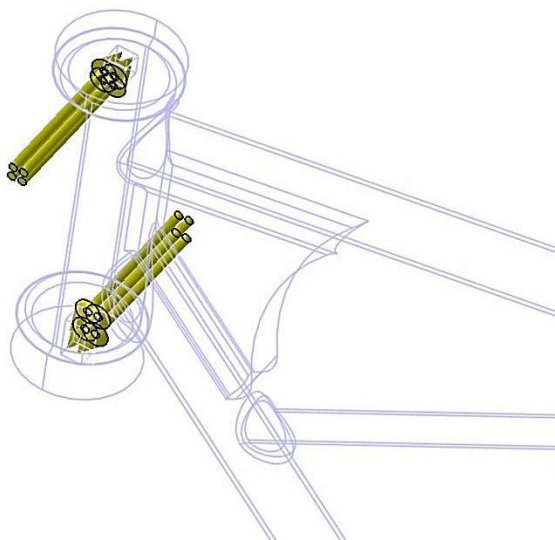


Figura 109. Aplicación de las fuerzas

Simulando el esfuerzo que soporta la pipa de dirección en particular y el chasis en general, se sometió a los dos chasis a un par de fuerzas aplicado en el punto medio de la pipa de 3727.69N.

8.4.2.1 CHASIS INICIAL

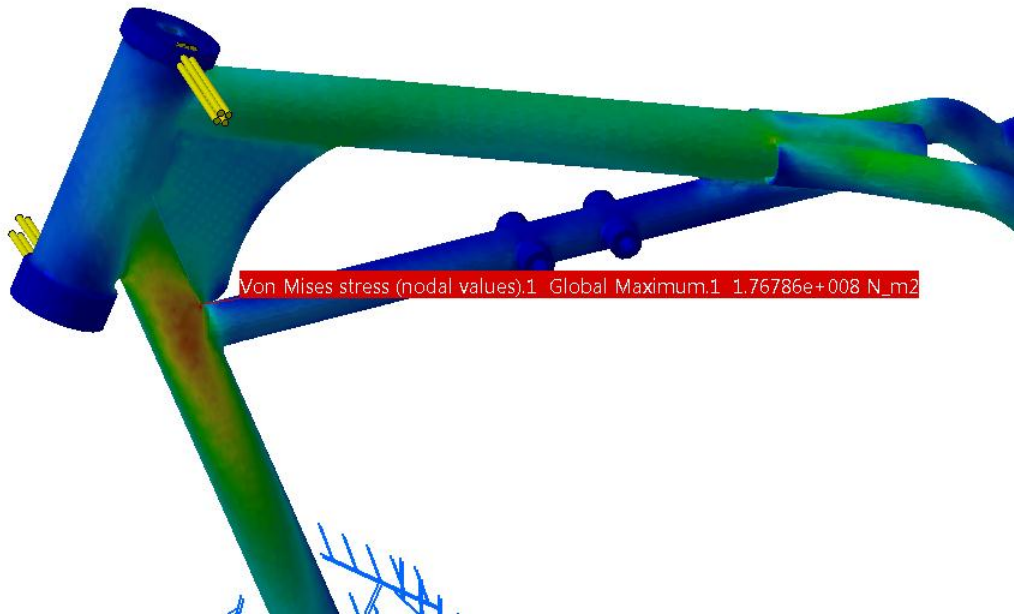


Figura 110. *Nodo de máxima tensión*

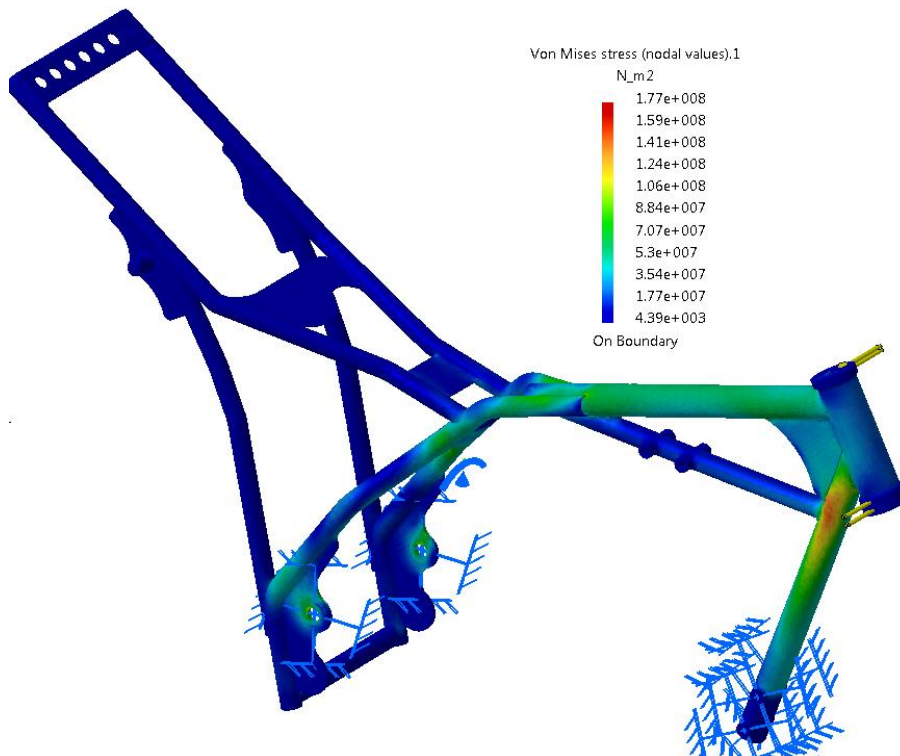


Figura 111. *Estado tensional del chasis*

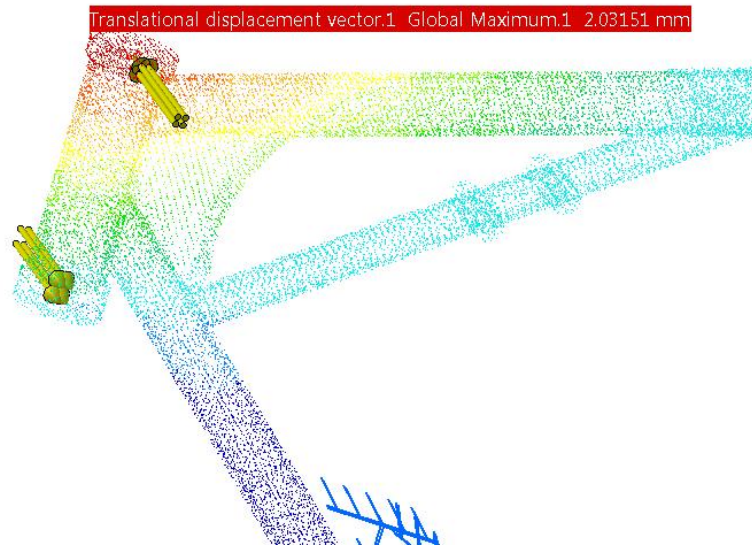


Figura 112. *Nodo de desplazamiento máximo*

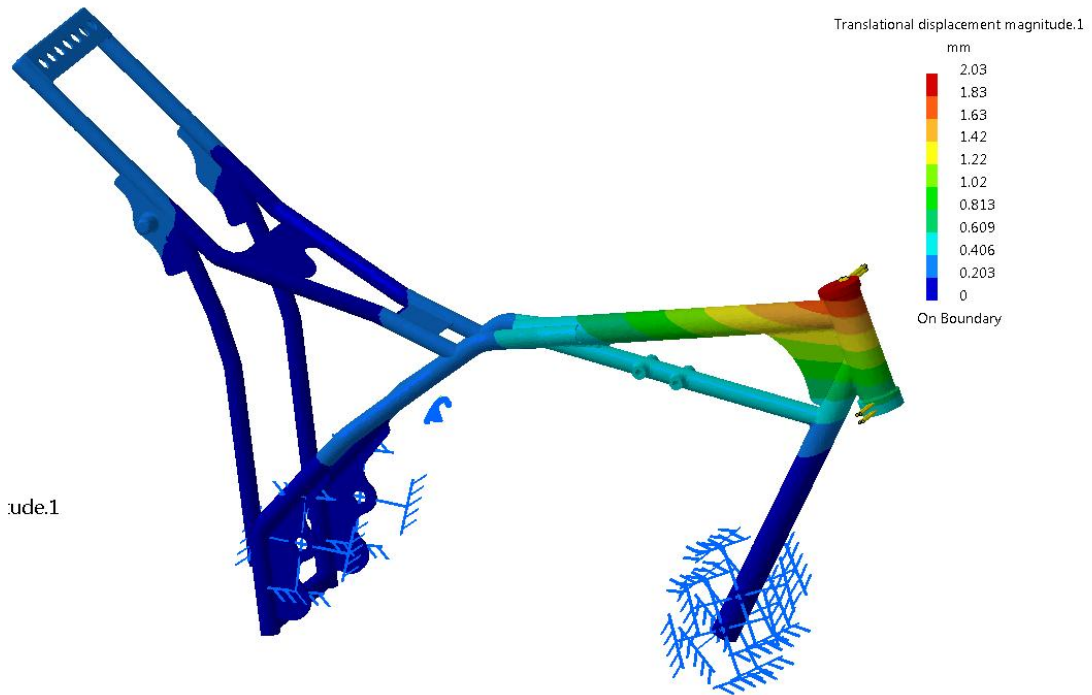


Figura 113. *Rango de desplazamientos*

8.4.2.2 CHASIS MODIFICADO

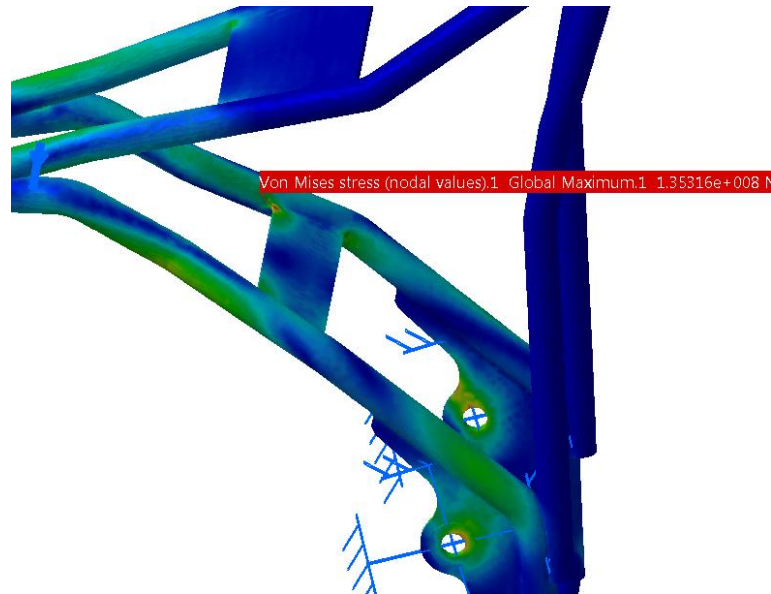


Figura 114. *Nodo de tensión máxima*

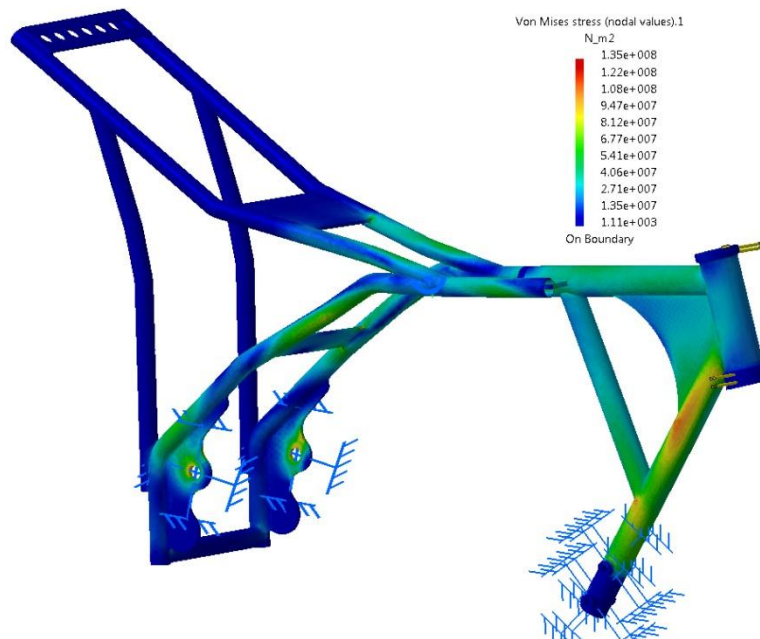


Figura 115. *Estado tensional del chasis*

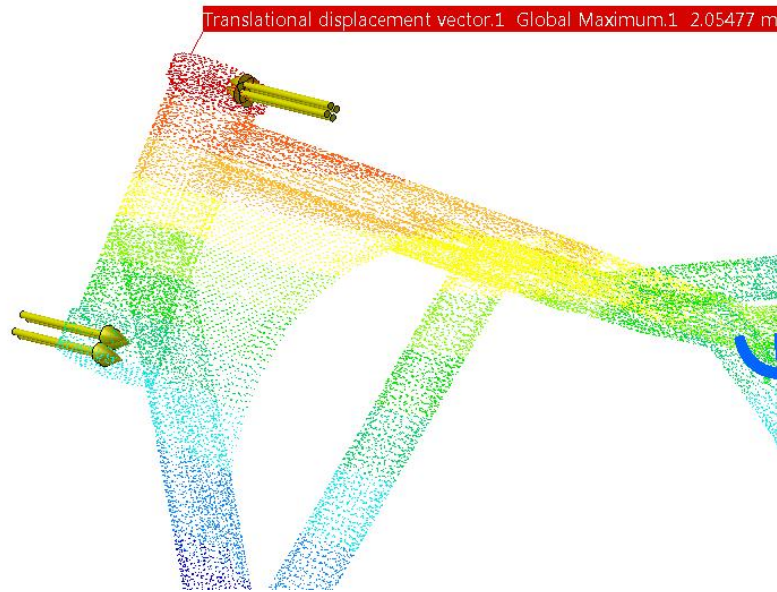


Figura 116. *Nodo de desplazamiento máximo*

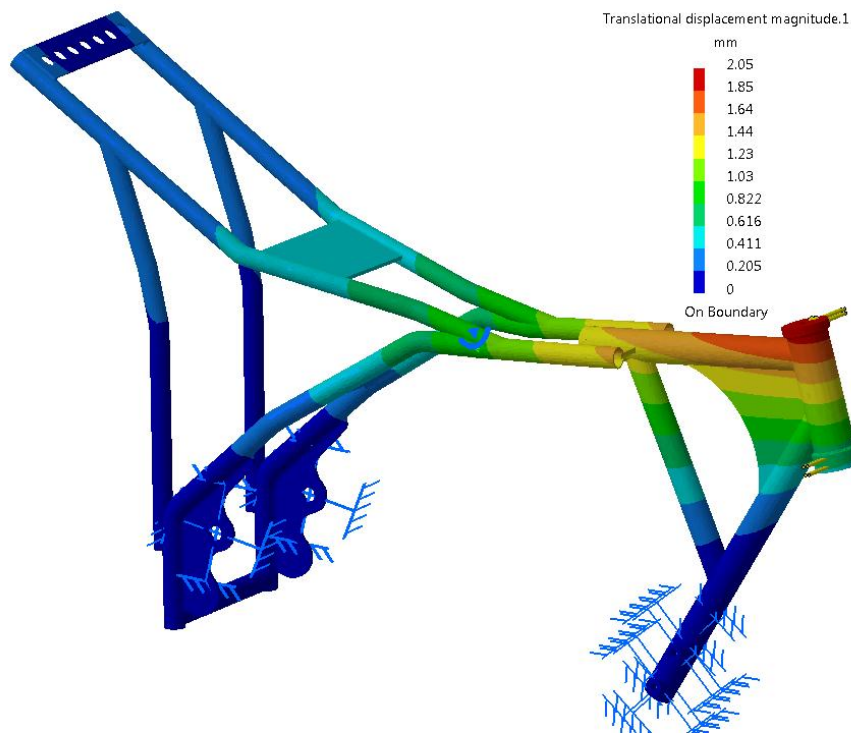


Figura 117. *Rango de desplazamientos*

8.4.2.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este caso en la simulación hecha por el ordenador se puede apreciar que en el caso del chasis original la tensión máxima sigue estando localizada debajo del refuerzo de la pipa de dirección. Esto sabemos que es debido a la unión de esa pieza y al concentrador de tensiones que tiene por lo que realizando una buena soldadura se resolvería.

En el chasis modificado la tensión máxima ocurre debido a un concentrador de tensiones en una chapa. Los valores de las tensiones máximas son inferiores al límite elástico del material en ambos casos con unos coeficientes de seguridad de 1.71 y 2.24 respectivamente.

En cuanto a los desplazamientos los dos chasis tienen situado el máximo en la pipa con un valor muy similar de 2.03 y 2.05 respectivamente.

8.4.3 ESFUERZOS EN BASCULANTE

Para realizar la simulación de los basculantes se aplicó la restricción de empotramiento en el eje de dicho basculante. Esto es debido a que cuando el basculante está anclado al chasis, lo hace junto con el motor por medio de un eje que mantiene las tres partes (motor, chasis y basculante) unidas. Por lo tanto en ese punto se considerará que la rigidez es muchísimo más grande que la del resto del basculante.

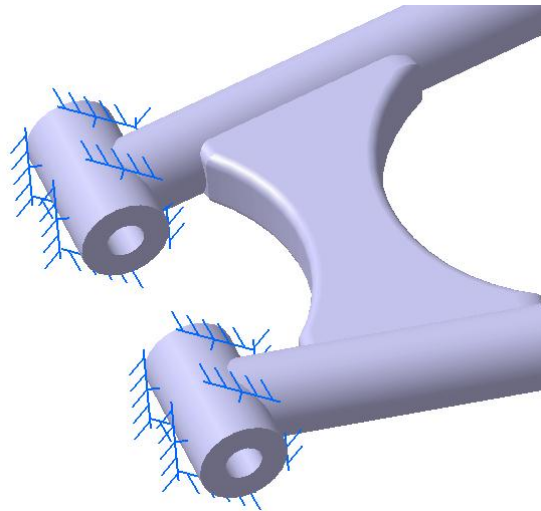


Figura 118. Empotramiento del basculante

Como ya se mencionó, la fuerza se aplicará perpendicularmente en la pieza especial colocada en el eje de la rueda.

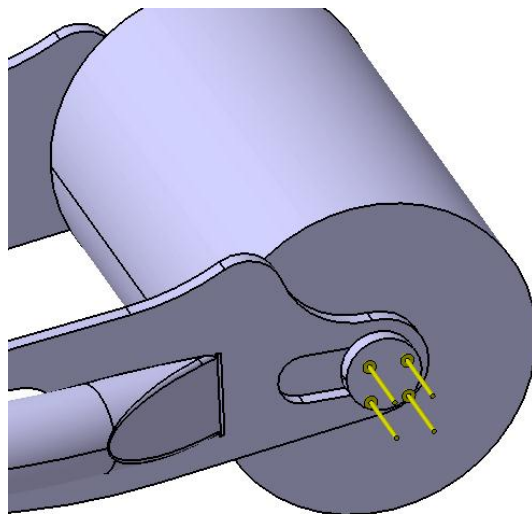


Figura 119. Aplicación de la fuerza

En este caso el valor que hemos obtenido en los cálculos previos para saber la fuerza a aplicar es de 980 N. Este será el dato que introduciremos en el programa.

8.4.3.1 BASCULANTE INICIAL

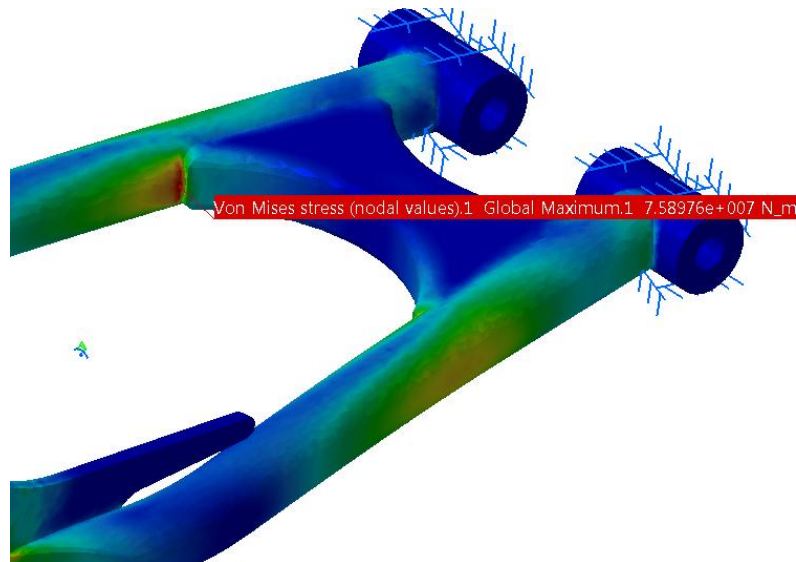


Figura 120. *Nodo de máxima tensión*

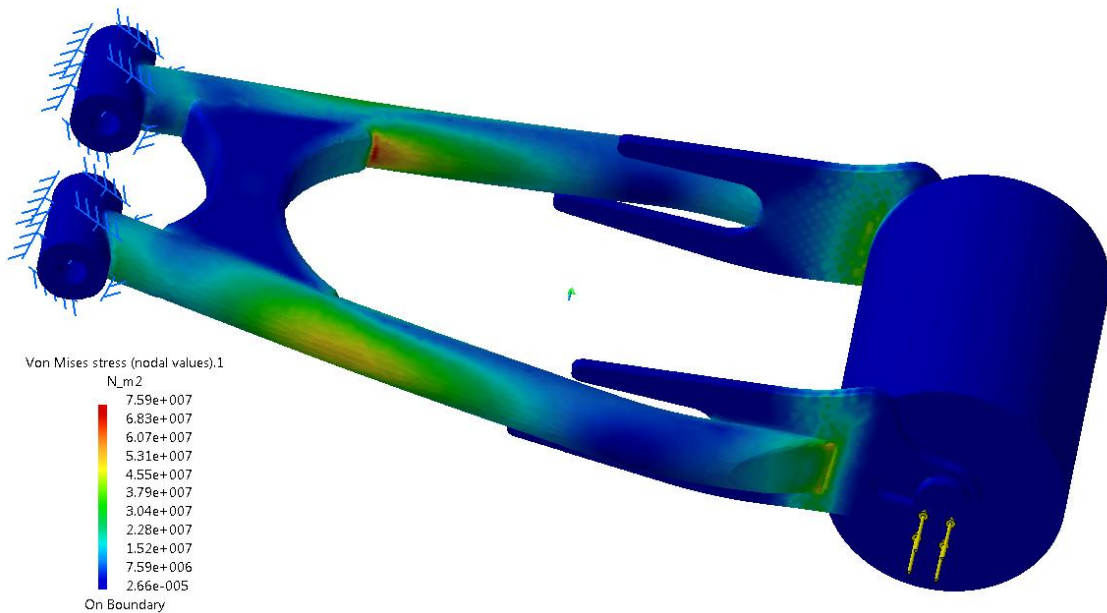


Figura 121. *Estado tensional del basculante*

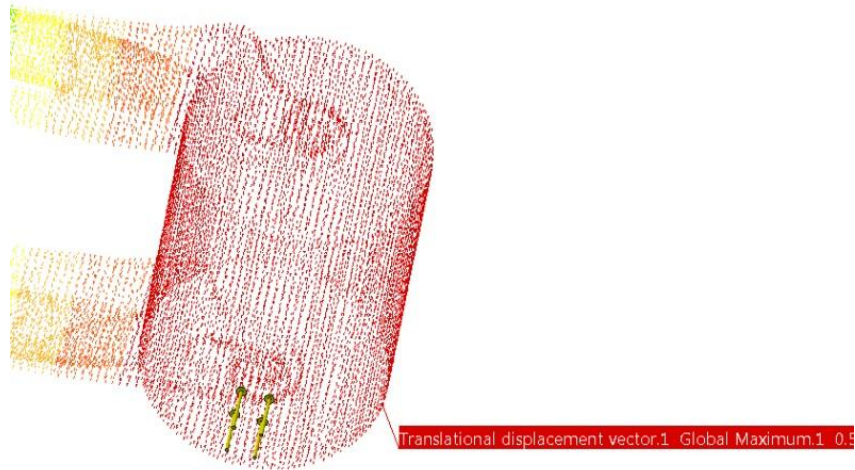


Figura 122. *Nodo de desplazamiento máximo*

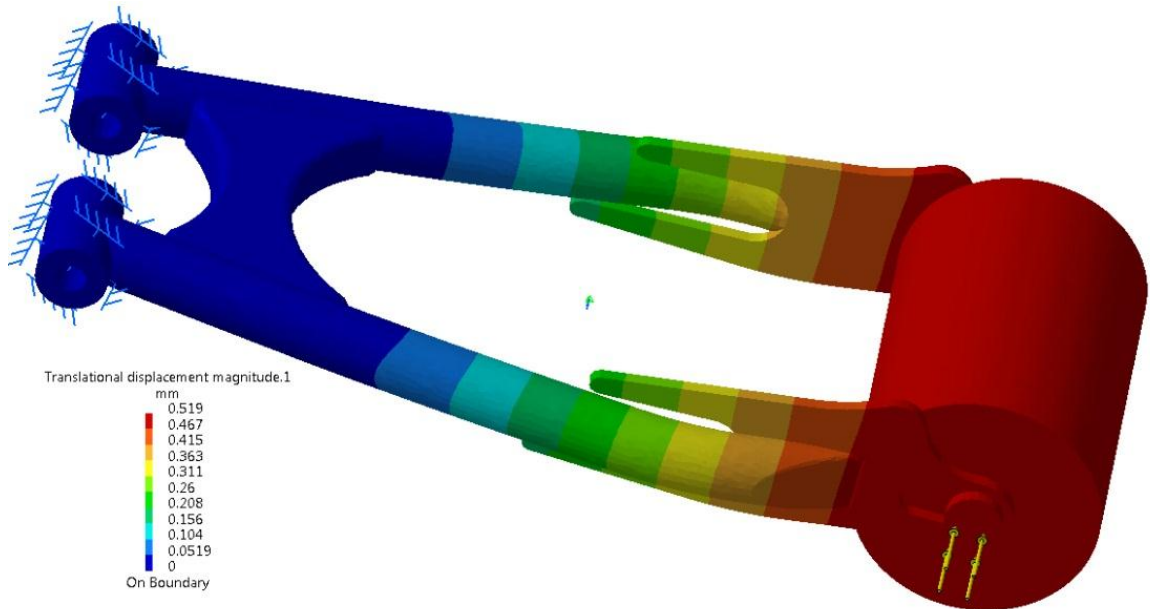


Figura 123. *Rango de desplazamientos*

8.4.3.2 BASCULANTE MODIFICADO

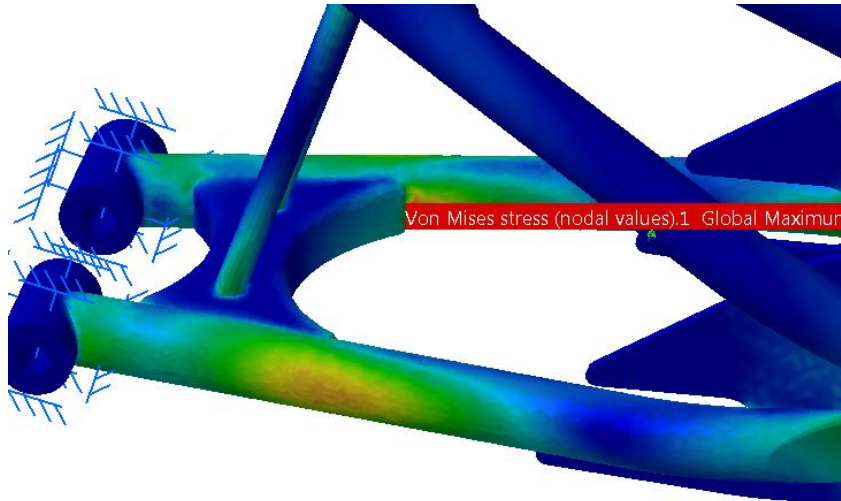


Figura 124. *Nodo de tensión máxima*

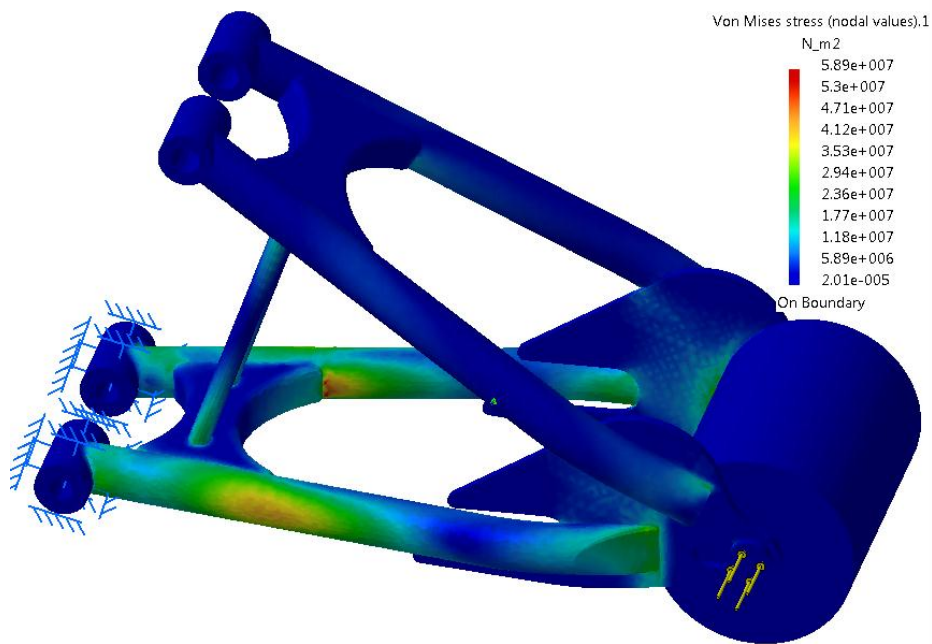


Figura 125. *Estado tensional del basculante*



Figura 126. *Nodo de desplazamiento máximo*

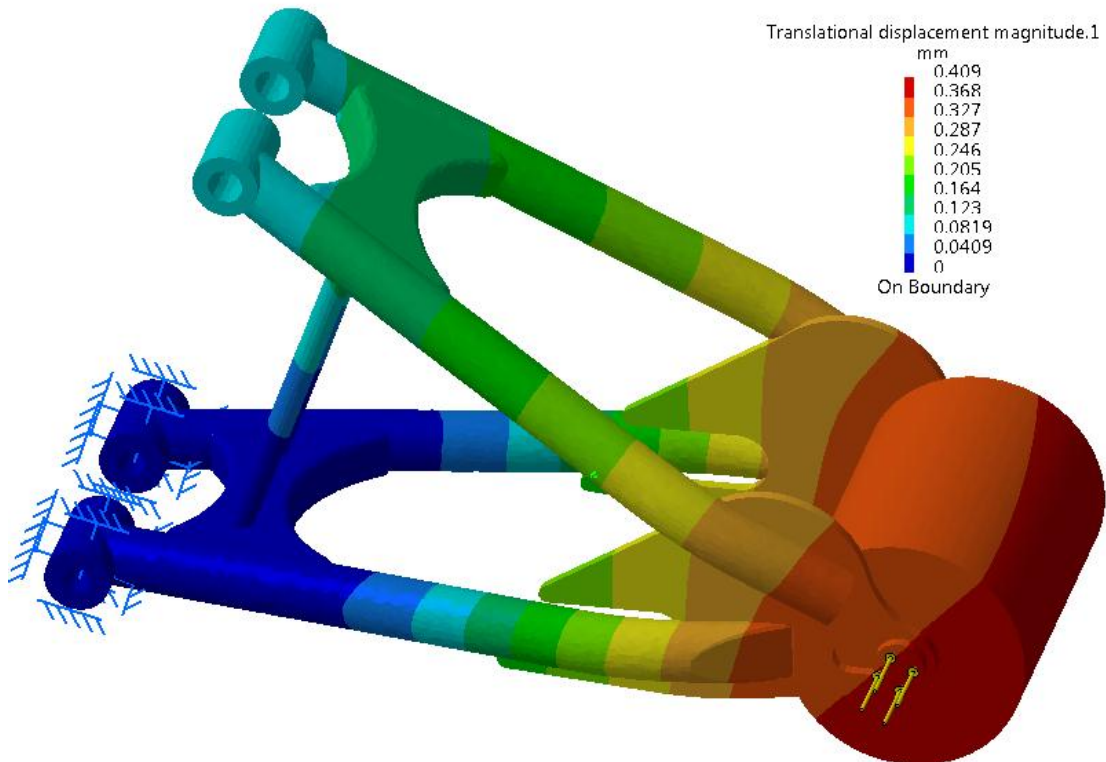


Figura 127. *Rango de desplazamientos*

8.4.3.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la simulación hecha por el ordenador se puede apreciar que en ambos basculantes máxima está localizada en un concentrador de tensiones en la pieza de unión de los dos tubos laterales.

Los valores de las tensiones máximas son inferiores al límite elástico del material en ambos casos con unos coeficientes de seguridad de 3.99 y 5.14 respectivamente.

En cuanto a los desplazamientos los dos basculantes presentan el máximo en la pieza ficticia que hemos creado para simular la rueda.

8.4.4 ESFUERZO DEL MONOAMORTIGUADOR A LA PIPA DE DIRECCIÓN

La última parte de la simulación consiste en averiguar el comportamiento del chasis modificado al aplicarle la fuerza que el nuevo amortiguador le ejercería en el caso de una compresión máxima como por ejemplo realizando un salto.

En este caso las restricciones del chasis se han impuesto en la pipa de dirección en el lugar que iría situada la tija ya que es el elemento que se supone que recibe en última instancia toda la fuerza.

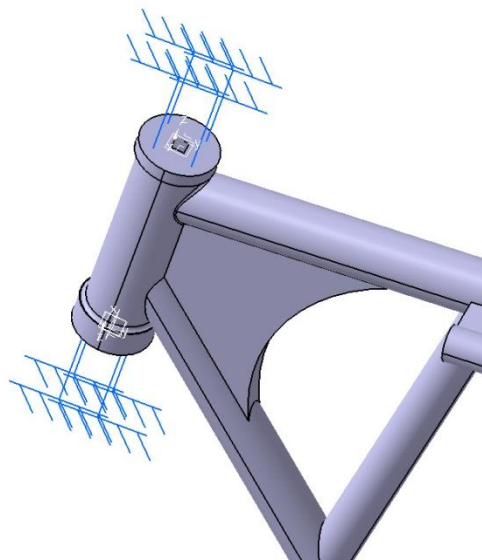


Figura 128. Empotramiento de la tija

La aplicación de la fuerza se ha realizado en el punto que estaría situado el eje superior del amortiguador en la dirección de este. El valor a aplicar obtenido en los cálculos previos fue de 10395.8 N.

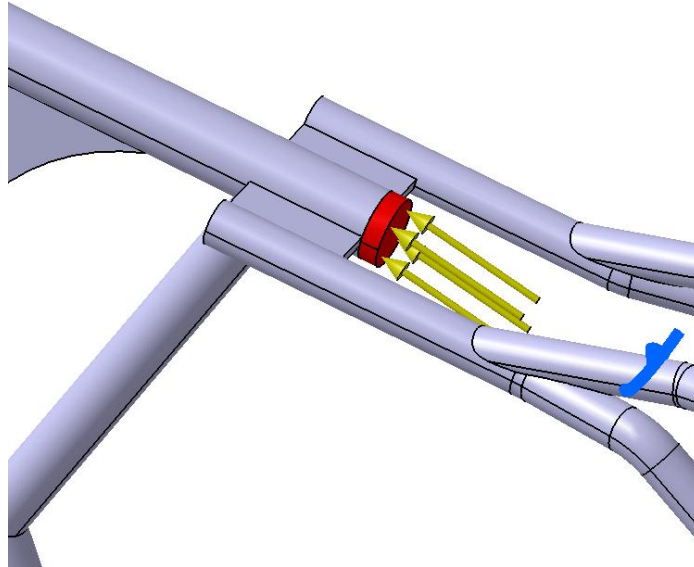


Figura 129. Aplicación de la fuerza

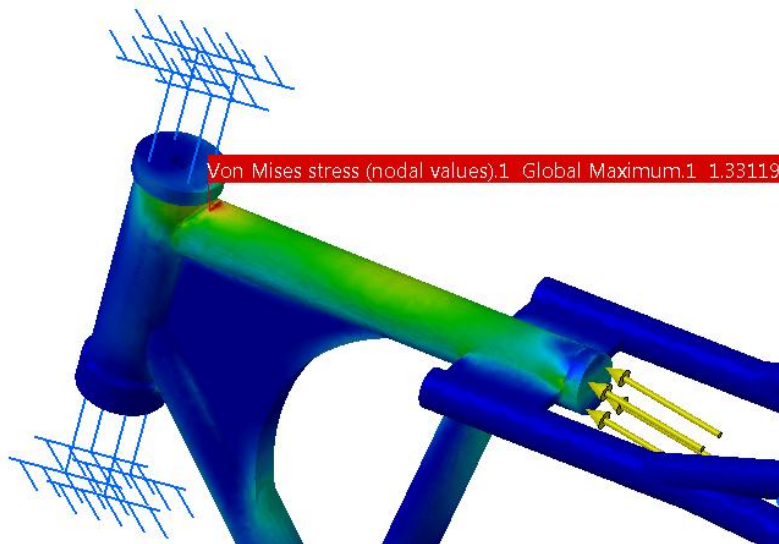


Figura 130. Nodo de tensión máxima

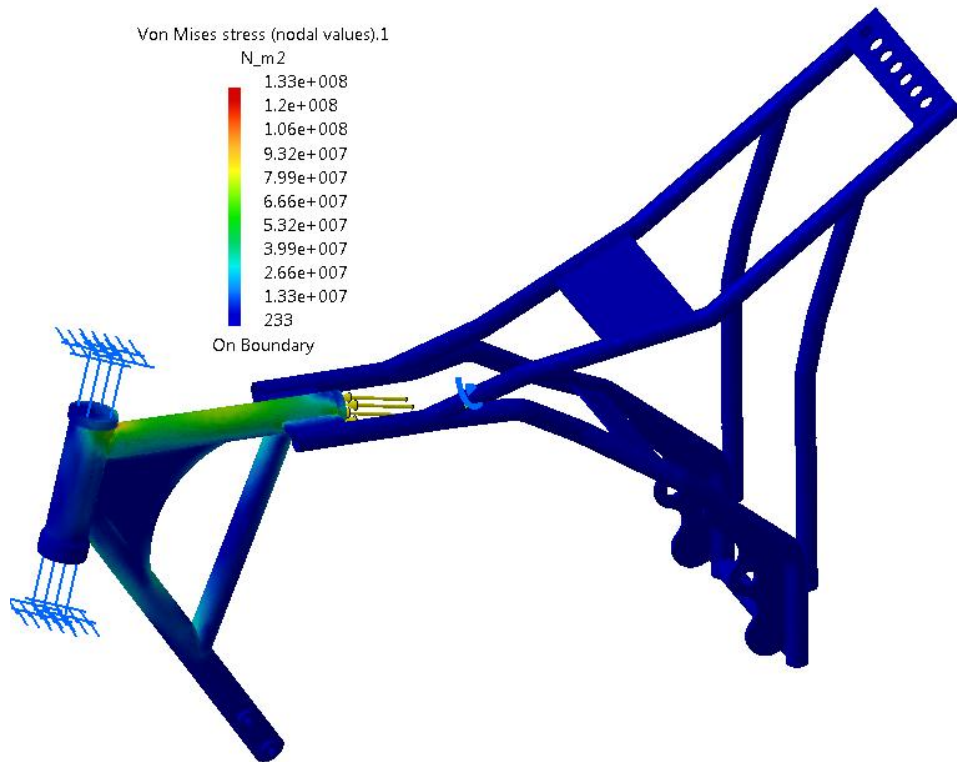


Figura 131. Estado tensional del chasis



Figura 132. Nodo de desplazamiento máximo

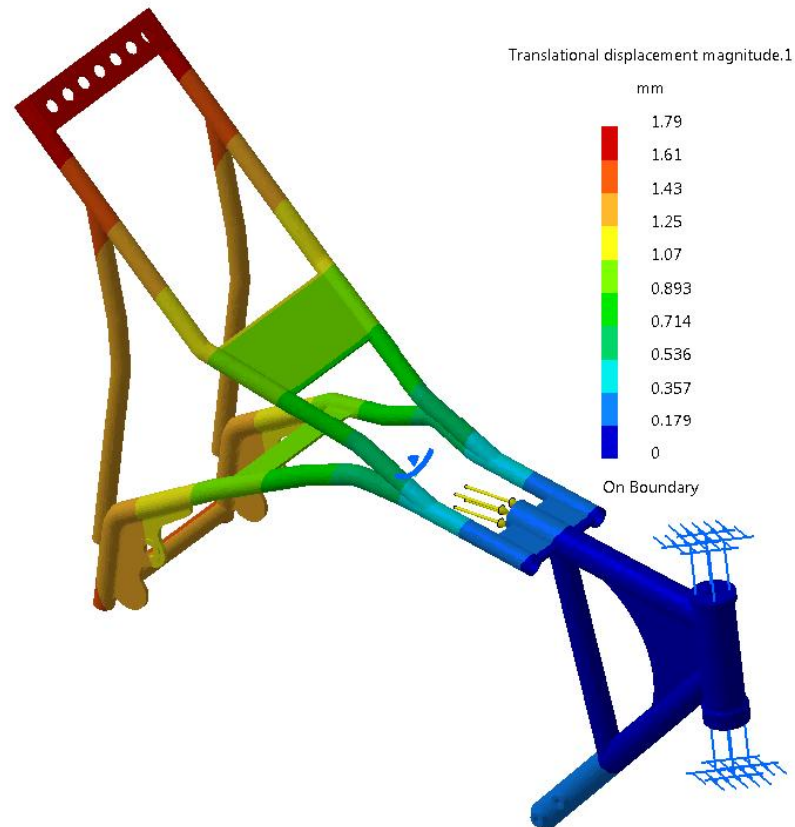


Figura 133. Rango de desplazamientos

8.4.4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la simulación hecha por el ordenador se puede apreciar la tensión máxima aparece en la pipa debido a un concentrador de tensiones de unión que se resolvería con soldadura.

El valor de la tensión máxima es inferior al límite elástico del material con un coeficiente de seguridad de 2.28.

En cuanto al desplazamiento máximo este tiene un valor de 1.71 mm localizado en el extremo del subchasis lo cual no es relevante.

9. CONCLUSIONES

El resumen de los resultados obtenidos en las simulaciones es:

Material: acero SAE1010 Laminado en frío: límite elástico 303 MPa.
Límite máximo 365 MPa.

Simulación	Componente	Fuerza aplicada Kg	Fuerza resultante N	Tensión máx Pa	Desplaz.mm	Cof. seguridad
Frenada Máx	Chasis origen	150	5574.24	$1.50 \cdot 10^8$	0.25	2.02
	Chasis modificado			$1.03 \cdot 10^8$	0.46	2.94
Curva	Chasis origen	100	3727.69	$1.77 \cdot 10^8$	2.03	1.71
	Chasis modificado			$1.35 \cdot 10^8$	2.05	2.24
Lateral	Basculante origen	100	980	$7.59 \cdot 10^7$	0.52	3.99
	Basculante modificado			$5.89 \cdot 10^7$	0.41	5.14
Fuerza del nuevo amortiguador al chasis	Chasis modificado	600	10395.8	$1.33 \cdot 10^8$	1.71	2.28

Una vez analizados los resultados podemos concluir lo siguiente:

- Hemos demostrado que el chasis modificado aguanta tanto o más que el original y por lo tanto la modificación sería buena.
- Se podrían modificar los coeficientes de seguridad según necesidades utilizando otro tipo de acero pero como con estos resultados estamos conformes usaremos este.
- Es bueno que aparezcan coeficientes de seguridad de 2 o más puesto que así la moto soportará mejor su uso fuera del asfalto.
- También se podría mejorar el diseño con tubos de mayor sección en determinadas zonas en función de lo que le queramos exigir a la nueva moto modificada.
- Una vez que hemos comprobado cómo se comporta el tubo central del chasis al aplicarle la fuerza máxima del muelle y ver que aguanta bien, solo quedaría buscar un amortiguador comercial que en función de la fuerza máxima que tenemos

tenga una K de acuerdo al desplazamiento que queramos según la fórmula $F=k*x$.(ver explicación posterior)

La constante K es una medida de la rigidez del resorte y se determina midiendo la fuerza extra necesaria para comprimir el muelle mediante la aplicación de una determinada carga. La constante se puede expresar en N/mm. Así que un resorte con una K de 10 N/mm necesitará una fuerza adicional de 100 N para comprimirlo 10 mm. En algunos casos, esta constante no varía en todo el rango útil de movimiento del muelle, y se denomina lineal. Por otra parte, algunos tipos de muelles presentan una K distinta en varias partes de la amplitud del movimiento, esto es a menudo conocido como un tipo progresivo, es decir, la constante K aumenta con la carga añadida.

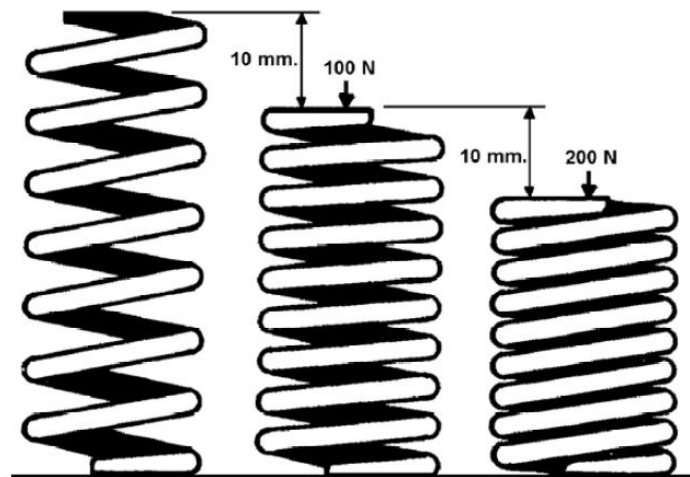


Figura 134. carga adicional necesaria para comprimir un muelle

10. CÁLCULOS

A continuación se explicarán los cálculos realizados para obtener la fuerza a aplicar en cada caso de las simulaciones.

10.1 FUERZA EN FRENADA MÁXIMA EN RUEDA DELANTERA

En el caso de la máxima frenada con la rueda delantera la componente vertical que el suelo hace sobre el neumático se puede despreciar ya que realmente actúa sobre la compresión de la suspensión. Por lo tanto no quedaremos con la componente horizontal, que a su vez se descompone según el eje de la pipa de dirección en dos fuerzas F_1 y F_2 . La componente F_2 se puede despreciar ya que al ser el ángulo muy pequeño, esta componente no es significativa. Por lo tanto no quedaremos con la componente perpendicular al eje de la pipa de dirección.

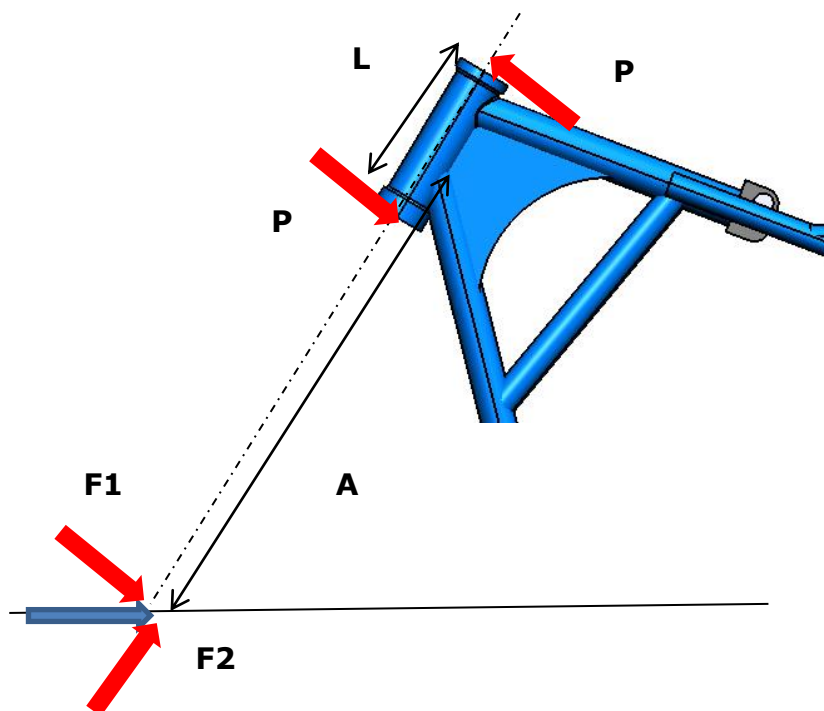


Figura 135. Fuerzas en la pipa en frenada máxima

La fuerza a aplicar será fruto de experiencia de David Azpiroz en sus ensayos en el banco de pruebas de chasis de su trabajo, y representará al conjunto de las fuerzas que actúan siendo de 150 kg.

El punto de aplicación de la fuerza se toma en el eje de la rueda. Esta fuerza crea un momento respecto del punto medio de la pipa de dirección, por tanto el par equivalente a aplicar en la pipa de dirección será:

$$F1 * A = P * L$$

De donde F1 vale 150 kg, L = 170mm y A son 646,64 mm. Por tanto, despejando y poniendo en sus respectivas unidades nos queda que la fuerza a aplicar para hacer la simulación será de **5574.24 N**.

10.2 FUERZA LATERAL EN PASO POR CURVA

En el caso de la fuerza máxima lateral en paso por se realizará también la simplificación de tomar únicamente la componente vertical de reacción del suelo sobre la moto ya que la componente centrípeta tiende en su mayor parte a comprimir las suspensiones. Como en el caso anterior la fuerza vertical se descompone según el eje de la pipa en dos componentes de los cuales nos quedaremos con la componente perpendicular por ser la otra muy pequeña.

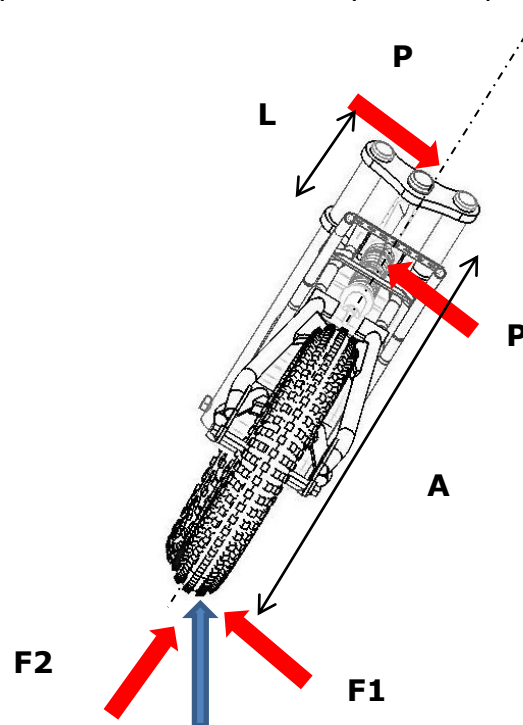


Figura 136. Fuerzas en la pipa en paso por curva

En este caso se aplicará una carga de 100 kg, siendo esta una cifra mayorada que comprende la máxima carga que soportará la moto en esta situación sobre ese eje.

Como en el caso anterior queda:

$$F1 * A = P * L$$

De donde F1 vale 100 kg, L = 170mm y A son 646,64 mm. Por tanto, despejando y poniendo en sus respectivas unidades nos queda que la fuerza a aplicar para hacer la simulación será de **3727.69 N**.

10.3 FUERZA LATERAL EN EL BASCULANTE

En el basculante únicamente se aplicará una fuerza perpendicular en el eje de la rueda, que simulará la fuerza máxima durante una curva extrema. En este caso la carga a aplicar será de 100 kg.

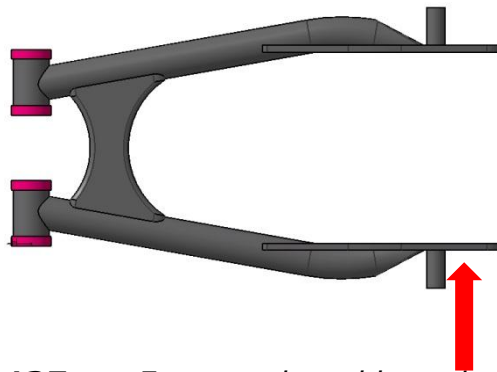


Figura 137. Fuerza sobre el basculante

Como en los otros dos casos esta carga es fruto de la experiencia de David Azpiroz y sus ensayos. Pasando la carga a Newton nos queda que aplicaremos **980 N** en la simulación.

10.4 ESFUERZO QUE REALIZA EL NUEVO AMORTIGUADOR SOBRE EL CHASIS

Para este último caso calcularemos la fuerza resultante sobre el eje del tubo superior del chasis (donde va anclado el nuevo amortiguador) al aplicarle una carga vertical en el eje de la rueda simulando un salto de la moto. El esquema del basculante para calcular la resultante es el siguiente:

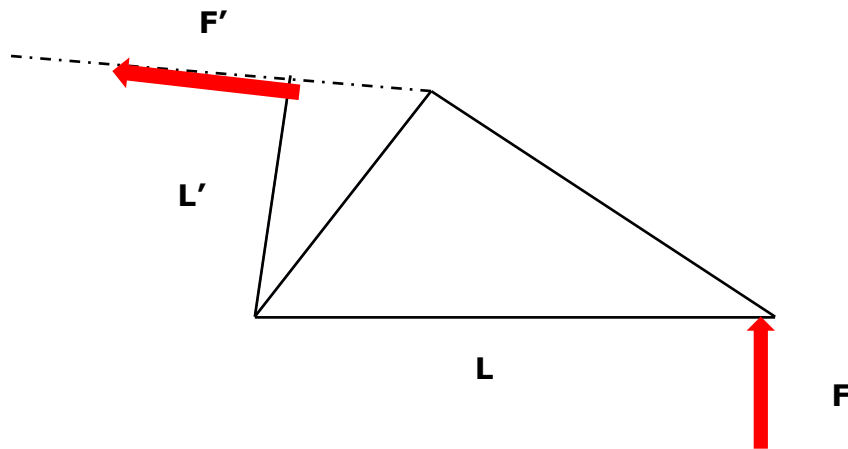


Figura 138. *Equivalencia de momentos sobre el eje del basculante*

El sumatorio de momentos respecto del eje del basculante es equivalente a:

$$F \cdot L = F' \cdot L'$$

De donde F es la fuerza perpendicular que aplicaremos en el eje y F' será la fuerza transmitida sobre el del tubo del chasis. Los valores son F=600 kg, L =479.63mm y L'=271.28 mm. Resolviendo tenemos que F' son **10395,8N**.

11. PRESUPUESTO

En este apartado se describe el coste necesario para la realización de las modificaciones oportunas en la motocicleta original Yamaha SR 250. Se describe el coste del material y el coste del personal que realizará la modificación.

Materiales

Código	Descripción	Unidades	Coste unitario (€)	Importe (€)
STD 01	Tubo comercial diámetro 15	0.5 m	30.07	15
STD 02	Tubo comercial diámetro 25	2 m	35	70
STD 03	Tubo comercial diámetro 32	0.5 m	30.07	15
STD 04	Tubo comercial diámetro 40	1 m	25	25
OHL 01	Amortiguador	1	350	350

Total Materiales 475

Mano de obra

Código	Descripción	Horas	Coste (€/h)	Importe (€)
SOL 01	Soldar tubos	5	30	150
VAR 01	Operaciones de colocación	20	15	300

Total Mano de obra 450

Total Presupuesto sin IVA 925

IVA (18%) 166.5

TOTAL 1091.5

El coste total de la realización de las modificaciones diseñadas asciende de la cantidad de MIL NOVENTA Y UN EUROS Y CINCUENTA CÉNTIMOS.

12. BIBLIOGRAFÍA

LIBROS

- [1] ARIAS PAZ, Manuel: *Motocicletas*. Madrid. Ed. Dossat 2001, 31ª edición
- [2] HEIL, Carsten: *1000 Motos*. Colonia. Ed. NGV
- [3] FOALE, Tony: *Motorcycle Handling and Chasis Design*. 2006 Second Ed.
- [4] COCCO, Gaetano: *Motorcycle design and Technology*. Milán. 2004, Ed. Giorgio Nada
- [5] COSSALTER, Vittore: *Motorcycle Dynamics*.
- [6] MARTÍNEZ DE PISÓN, Fco Javier y otros: *La oficina técnica y los proyectos industriales. Vol I y II*. 2002, Universidad de la Rioja
- [7] LAMBÁS, Jesús: *Diseño gráfico con CATIA*. 2006 Ed. RA-MA

PROYECTOS FIN DE CARRERA

- [1] GARCÍA PETRUS, Carlos: *Diseño y estudio por elementos finitos del chasis de una motocicleta*. 2008, Universidad Politécnica de Catalunya
- [2] ZÁRATE FRAGA, Marta: *Simulación del comportamiento dinámico en 3D de una motocicleta en fase de aceleración y frenada durante la trazada de una curva*. 2009, Universidad Carlos III de Madrid
- [3] VERGARA CULEBRAS, Patxi: *Modelado, análisis y simulación de un chasis de motocicleta*. 2011, Universidad Carlos III de Madrid
- [4] LIMOUSIN ARANZABAL, Ernesto y DÍAZ DE CERIO, Cesar: *Diseño y cálculo estructural del chasis de una motocicleta de competición*. 2010. Universidad Pública de Navarra
- [5] CASAJUS MAIRAL, Jorge: *Estudio de diseño y fabricación de una motocicleta de competición de 125 cc*. 2010, Universidad de Zaragoza
- [6] CALVO RODRÍGUEZ, Arturo: *Diseño y análisis de un chasis para un prototipo de fórmula SAE*. Universidad Pontificia de Comillas
- [7] PERCAZ OROZ, José Manuel: *Diseño de piezas interiores de un microbús mediante el programa CATIA V5*. 2010. Universidad Pública de Navarra.

ARTÍCULOS

- [1] GUÍA PRÁCTICA: Art. *Legislación de Reformas en vehículos*. 2011/12, Revista Fórmula Todo Terreno nº10
- [2] BASELGA ARIÑO, Santiago: *Bases teóricas sobre reformas de importancia de vehículos*. Ed. Laimuz. 1ª Edición
- [3] COSENTINO, Chris: *Design Perspective*. 2009, Cosentino Engineering
- [4] *Chasis de motocicletas*. ArtecMoto.com
- [5] *Geometrías de una motocicleta*. Gassattack.com
- [6] *Motorcycle design guide*. 2009, RCAR
- [7] *Reparación de chasis de motocicleta*. CESVIMAP
- [8] CASAJÚS, Luis: *Tipos de chasis de motocicletas*. Enero/Marzo 2012. www.centro-zaragoza.com

NORMATIVA APLICABLE

- [1] Directiva 2007/46/CE del Parlamento europeo y del Consejo, de 5 de Septiembre de 2007 por la que se crea un marco para la homologación de los vehículos de motor y de los remolques, sistemas, componentes y unidades técnicas independientes destinados a dichos vehículos (Directiva marco)
- [2] Real Decreto 866/2010, de 2 de Julio por el que se regula la tramitación de las reformas de vehículos.
- [3] Manual de Procedimiento de Inspección de las estaciones I.T.V.
- [4] Orden ITC/3124/2010, de 26 de noviembre, por la que se actualizan los Anexos I y II del Real Decreto 2028/1986, de 6 de junio, sobre las normas para la aplicación de determinadas directivas de la CE, relativas a la homologación de tipo de vehículos automóviles, remolques, semirremolques, motocicletas, ciclomotores y vehículos agrícolas, así como de partes y piezas de dichos vehículos
- [5] Reglamento (UE) Nº 371/2010 de la Comisión de 16 de abril de 2010 que sustituye los anexos V, X, XV y XVI de la Directiva 2007/46/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, por la que se crea un marco para la homologación de los vehículos de motor y de los remolques, sistemas, componentes y unidades técnicas independientes destinados a dichos vehículos

- [6] Real Decreto 750/2010, de 4 de junio, por el que se regulan los procedimientos de homologación de vehículos de motor y sus remolques, máquinas autopropulsadas o remolcadas, vehículos agrícolas, así como de sistemas, partes y piezas de dichos vehículos.
- [7] Real Decreto 2822/1998, de 23 de Diciembre, por el que se aprueba el Reglamento General de Vehículos
- [8] Real Decreto 2028/1986, de 6 de Junio, por el que se dictan normas para la aplicación de determinadas Directivas de la CEE, relativas a la homologación de tipos de vehículos automóviles, remolques y semirremolques, así como de partes y piezas de dichos vehículos

DIRECCIONES WEB

- [1] www.boe.es
- [2] www.micyt.es
- [3] http://www.cmsnl.com/yamaha-xt250g-dual-purpose-1980_model8766/partslist/
- [4] www.wikipedia.org
- [5] www.google.es

13. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	<i>Motocicleta SR 250 (1989)</i>	4
Figura 2.	<i>Motocicleta del cliente</i>	5
Figura 3.	<i>Sistemas de doble y mono amortiguación</i>	6
Figura 4.	<i>Sistema cantiléver</i>	6
Figura 5.	<i>"Vehículo de montar", Daimler (1885)</i>	10
Figura 6.	<i>Motocicleta Hildebrand-Wolfmüller (1894)</i>	11
Figura 7.	<i>Suzuki GSXR600</i>	12
Figura 8.	<i>BMW R1200 RT</i>	13
Figura 9.	<i>Honda Gold Wing GL 1800</i>	13
Figura 10.	<i>Kawasaki Z1000</i>	14
Figura 11.	<i>Honda EVO6 Roadster</i>	14
Figura 12.	<i>Suzuki StreetFighter</i>	15
FIGURA 13.	<i>Modificación tipo Scrambler de una Honda VT 750</i>	15
Figura 14.	<i>Harley-Davidson Springer</i>	16
Figura 15.	<i>Motocicleta estilo chopper</i>	16
Figura 16.	<i>Honda Africa Twin 750</i>	17
Figura 17.	<i>Suzuki DR Z125</i>	17
Figura 18.	<i>Kawasaki KLX 300 R</i>	18
Figura 19.	<i>Honda Montesa Cota 4RT</i>	18
Figura 20.	<i>KTM 990 Supermotard</i>	19
Figura 21.	<i>Ciclomotor Aprilia</i>	19
Figura 22.	<i>Motocicleta Scooter</i>	20
Figura 23.	<i>Partes de una motocicleta (Vista lateral)</i>	21
Figura 24.	<i>Partes de una motocicleta (Vista superior)</i>	21
Figura 25.	<i>Motor de motocicleta</i>	22
Figura 26.	<i>Partes del bastidor</i>	23
Figura 27.	<i>Horquilla telescópica</i>	24
Figura 28.	<i>Partes de un freno de tambor</i>	26
Figura 29.	<i>Sistema de freno de disco</i>	27
Figura 30.	<i>Disco flotante</i>	27
Figura 31.	<i>Freno delantero</i>	28

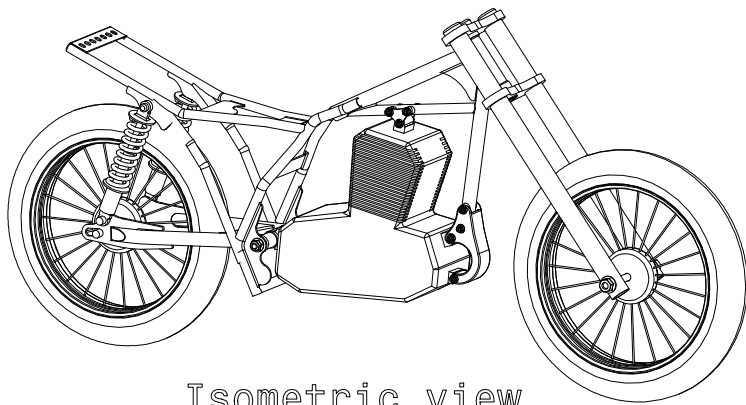
Figura 32.	<i>Freno trasero</i>	28
Figura 33.	<i>Transmisión Primaria</i>	29
Figura 34.	<i>Embrague</i>	30
Figura 35.	<i>Caja de Velocidades</i>	30
Figura 36.	<i>Transmisión secundaria por cadena, correa y cardan</i>	31
Figura 37.	<i>Llantas de radios y aleación</i>	32
Figura 38.	<i>Capas de un neumático</i>	33
Figura 39.	<i>Chasis Monocuna</i>	36
Figura 40.	<i>Chasis Simple Cuna Cerrado</i>	37
Figura 41.	<i>Chasis Simple Cuna Abierto, Ducati 24 horas (1973)</i>	37
Figura 42.	<i>Chasis Simple Cuna Desdoblado, KTM 250X (2011)</i>	38
Figura 43.	<i>Chasis Doble Cuna, Triumph (1962)</i>	39
Figura 44.	<i>Chasis multitubular de Ducati</i>	39
Figura 45.	<i>Chasis Doble Viga, Yamaha R6 (2008)</i>	40
Figura 46.	<i>Chasis Doble Viga Cerrado, Kawasaki ZRX 750 (1990)</i>	41
Figura 47.	<i>Chasis Monocasco, Kawasaki ZZR 1400 (2012)</i>	41
Figura 48.	<i>Chasis monoviga, Honda CB 900F (2002)</i>	42
Figura 49.	<i>Chasis Omega, Yamaha GTS 1000 (1993)</i>	42
Figura 50.	<i>Fuerzas en frenada máxima en rueda delantera</i>	43
Figura 51.	<i>Fuerzas en paso por curva</i>	44
Figura 52.	<i>Posición de "descuelgue" del piloto</i>	45
Figura 53.	<i>puntos clave del basculante</i>	46
Figura 54.	<i>Esfuerzos ante un obstáculo</i>	47
Figura 55.	<i>Esfuerzos en una curva</i>	48
Figura 56.	<i>Ejes principales de la motocicleta</i>	52
Figura 57.	<i>Lanzamiento en una motocicleta</i>	53
Figura 58.	<i>Avance en una motocicleta</i>	54
Figura 59.	<i>Distancia entre ejes</i>	55
Figura 60.	<i>Efecto giroscópico</i>	57
Figura 61.	<i>Efecto giroscópico debido al viraje</i>	58
Figura 62.	<i>Efecto giroscópico debido al viraje</i>	59
Figura 63.	<i>Efecto giroscópico del movimiento de inclinación</i>	60
Figura 64.	<i>Efecto giroscópico global sobre la motocicleta</i>	61

Figura 65.	<i>Efecto giroscópico debido al giro del manillar.....</i>	62
Figura 66.	<i>Ejes principales de una motocicleta.....</i>	63
Figura 67.	<i>Frenado de una motocicleta</i>	65
Figura 68.	<i>CATIA.....</i>	78
Figura 69.	<i>Ejemplos de piezas realizadas en CATIA</i>	78
Figura 70.	<i>Imagen real de la motocicleta Yamaha SR250</i>	95
Figura 71.	<i>Modelado completo de la motocicleta Yamaha SR250</i>	95
Figura 72.	<i>Basculante de la motocicleta Yamaha SR250</i>	96
Figura 73.	<i>Imagen virtual del basculante Yamaha SR250</i>	96
Figura 74.	<i>Vistas del basculante inicial.....</i>	97
Figura 75.	<i>Modelizado de una pieza de unión del chasis al motor</i>	97
Figura 76.	<i>Chasis de Yamaha SR250</i>	98
Figura 77.	<i>Chasis modelizado de Yamaha SR250.....</i>	98
Figura 78.	<i>Vistas frontal y trasera del chasis inicial.....</i>	99
Figura 79.	<i>Vistas en planta e inferior del chasis original</i>	99
Figura 80.	<i>Explosionado de componentes de la Yamaha SR250.....</i>	100
Figura 81.	<i>Motocicleta modificada</i>	101
Figura 82.	<i>Vista lateral de la moto modificada</i>	101
Figura 83.	<i>Vista en planta de la modificación</i>	101
Figura 84.	<i>Vista posterior de la moto.....</i>	102
Figura 85.	<i>Vista isométrica de la modificación.....</i>	102
Figura 86.	<i>Varias vistas del nuevo chasis con y sin basculante</i>	103
Figura 87.	<i>Vistas frontal y posterior del nuevo chasis.....</i>	104
Figura 88.	<i>Vistas en planta e inferior del nuevo chasis</i>	104
Figura 89.	<i>Nuevo basculante</i>	105
Figura 90.	<i>Vistas del nuevo basculante</i>	105
Figura 91.	<i>Comparación entre el chasis original y la modificación</i>	106
Figura 92.	<i>Comparación entre el basculante original y la modificación..</i>	107
Figura 93.	<i>Representación típica de MEF</i>	109
Figura 94.	<i>Mallado del chasis modificado.....</i>	111
Figura 95.	<i>mallado del basculante modificado.....</i>	111
Figura 96.	<i>Pieza especial para la pipa de dirección.....</i>	112
Figura 97.	<i>Piezas especiales para el basculante.....</i>	112

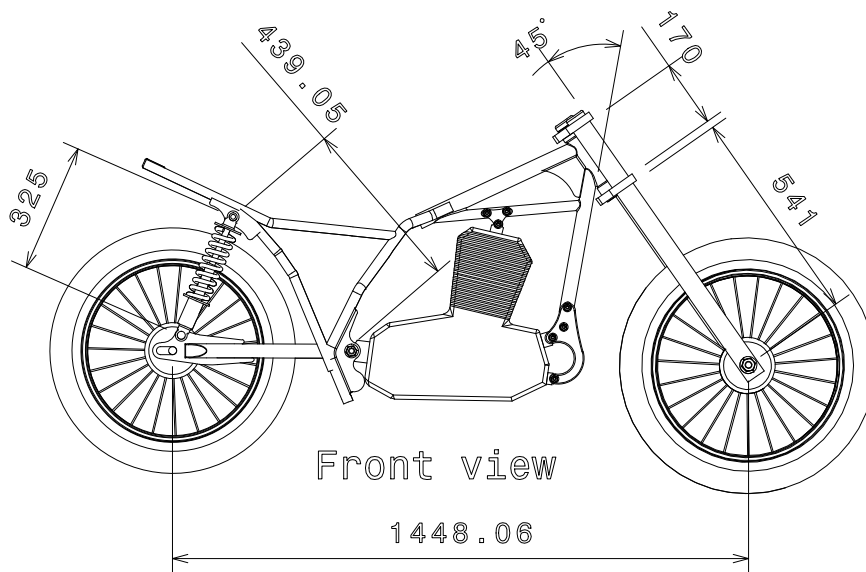
Figura 98.	<i>Pieza especial para el tubo central</i>	<i>113</i>
Figura 99.	<i>Empotramientos del chasis.....</i>	<i>114</i>
Figura 100.	<i>Aplicación de las fuerzas.....</i>	<i>114</i>
Figura 101.	<i>Nodo de máxima tensión en chasis original</i>	<i>115</i>
Figura 102.	<i>Vista de tensiones de Von Mises</i>	<i>115</i>
Figura 103.	<i>Nodo de desplazamiento máximo.....</i>	<i>116</i>
Figura 104.	<i>Rango de desplazamientos.....</i>	<i>116</i>
Figura 105.	<i>Nodo de máxima tensión</i>	<i>117</i>
Figura 106.	<i>Estado tensional del chasis.....</i>	<i>117</i>
Figura 107.	<i>Desplazamiento máximo.....</i>	<i>118</i>
Figura 108.	<i>Rango de desplazamientos.....</i>	<i>118</i>
Figura 109.	<i>Aplicación de las fuerzas.....</i>	<i>119</i>
Figura 110.	<i>Nodo de máxima tensión</i>	<i>120</i>
Figura 111.	<i>Estado tensional del chasis.....</i>	<i>120</i>
Figura 112.	<i>Nodo de desplazamiento máximo.....</i>	<i>121</i>
Figura 113.	<i>Rango de desplazamientos.....</i>	<i>121</i>
Figura 114.	<i>Nodo de tensión máxima</i>	<i>122</i>
Figura 115.	<i>Estado tensional del chasis.....</i>	<i>122</i>
Figura 116.	<i>Nodo de desplazamiento máximo.....</i>	<i>123</i>
Figura 117.	<i>Rango de desplazamientos.....</i>	<i>123</i>
Figura 118.	<i>Empotramiento del basculante.....</i>	<i>125</i>
Figura 119.	<i>Aplicación de la fuerza.....</i>	<i>125</i>
Figura 120.	<i>Nodo de máxima tensión</i>	<i>126</i>
Figura 121.	<i>Estado tensional del basculante</i>	<i>126</i>
Figura 122.	<i>Nodo de desplazamiento máximo.....</i>	<i>127</i>
Figura 123.	<i>Rango de desplazamientos.....</i>	<i>127</i>
Figura 124.	<i>Nodo de tensión máxima</i>	<i>128</i>
Figura 125.	<i>Estado tensional del basculante</i>	<i>128</i>
Figura 126.	<i>Nodo de desplazamiento máximo.....</i>	<i>129</i>
Figura 127.	<i>Rango de desplazamientos.....</i>	<i>129</i>
Figura 128.	<i>Empotramiento de la tija</i>	<i>130</i>
Figura 129.	<i>Aplicación de la fuerza.....</i>	<i>131</i>
Figura 130.	<i>Nodo de tensión máxima</i>	<i>131</i>

Figura 131. Estado tensional del chasis.....	132
Figura 132. Nodo de desplazamiento máximo.....	132
Figura 133. Rango de desplazamientos.....	133
Figura 134. carga adicional necesaria para comprimir un muelle.....	135
Figura 135. Fuerzas en la pipa en frenada máxima.....	136
Figura 136. Fuerzas en la pipa en paso por curva.....	137
Figura 137. Fuerza sobre el basculante.....	138
Figura 138. Equivalencia de momentos sobre el eje del basculante	139

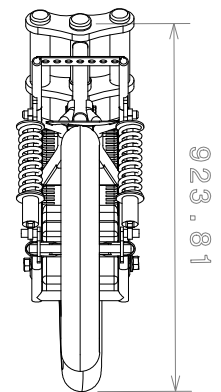
14. PLANOS



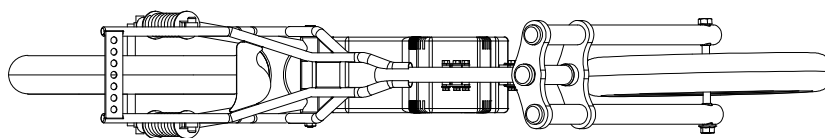
Isometric view



Front view



Left view



Top view



Universidad Pública
de Navarra
Nafarroako
Unibertsitate Publikoa

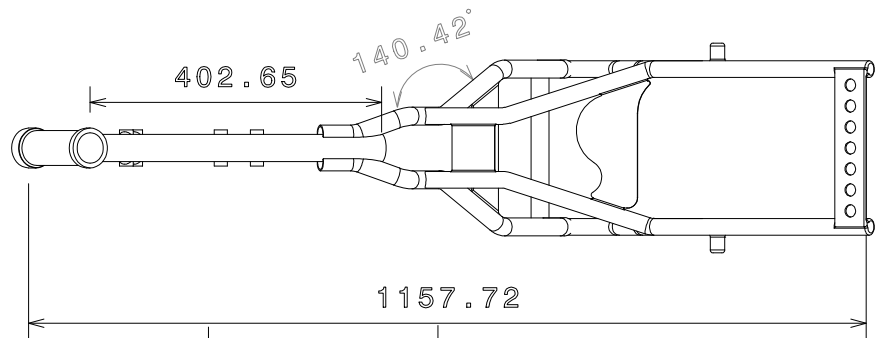
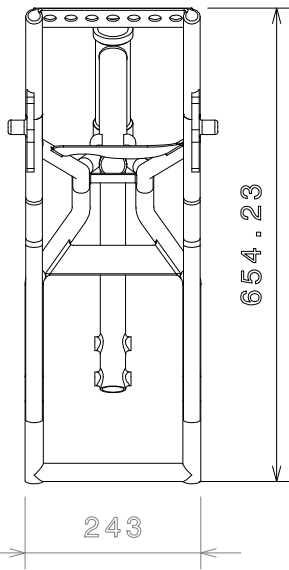
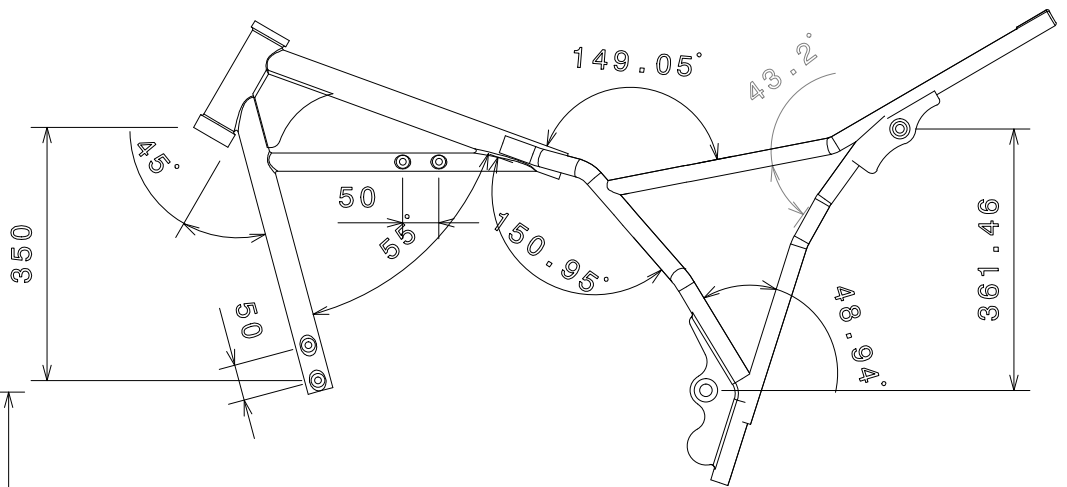
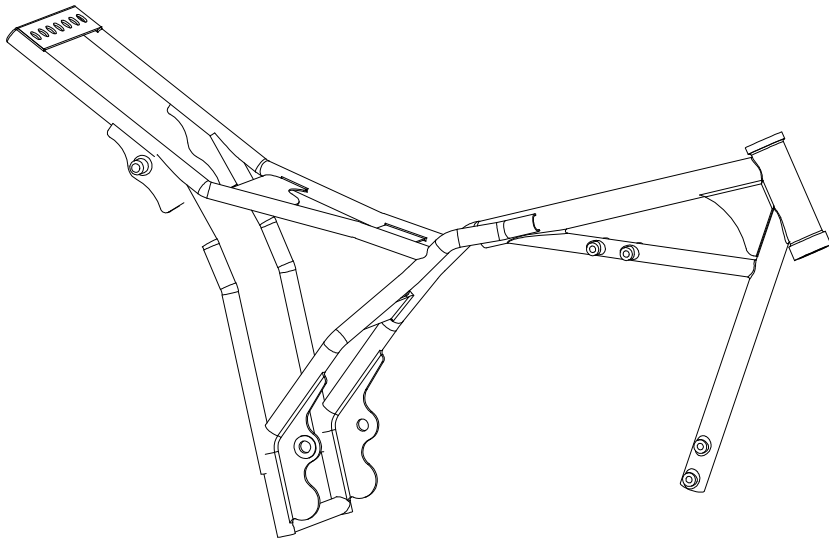
E.T.S.I.I.T.
**INGENIERO TÉCNICO
INDUSTRIAL M.**

DEPARTAMENTO:
**PROYECTOS E
ING. RURAL**

PROYECTO:
**DISEÑO Y ESTUDIO DE MODIFICACIÓN DE CHASIS
Y BASCULANTE DE UNA MOTOCICLETA**

REALIZADO:
LARRAURI GARCÍA, ASIER

FIRMA:



SAE	1010
NORMA	MATERIAL
TOLERANCIAS GENERALES UNE EN 22768	



Universidad Pública
de Navarra
Nafarroako
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T.
INGENIERO TÉCNICO
INDUSTRIAL M.

DEPARTAMENTO:
PROYECTOS E
ING. RURAL

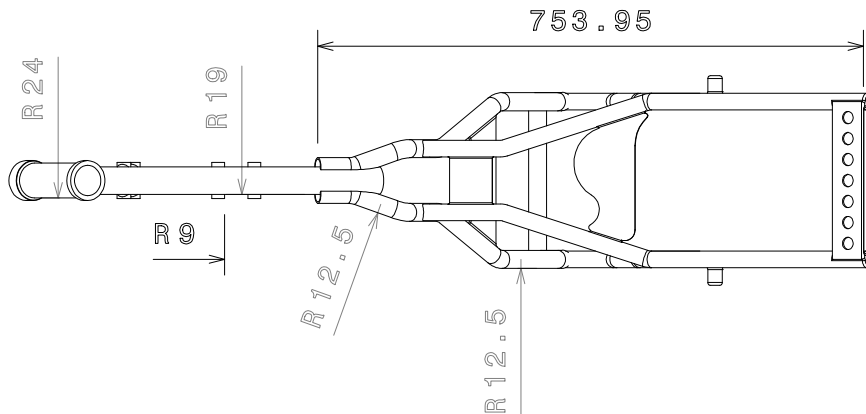
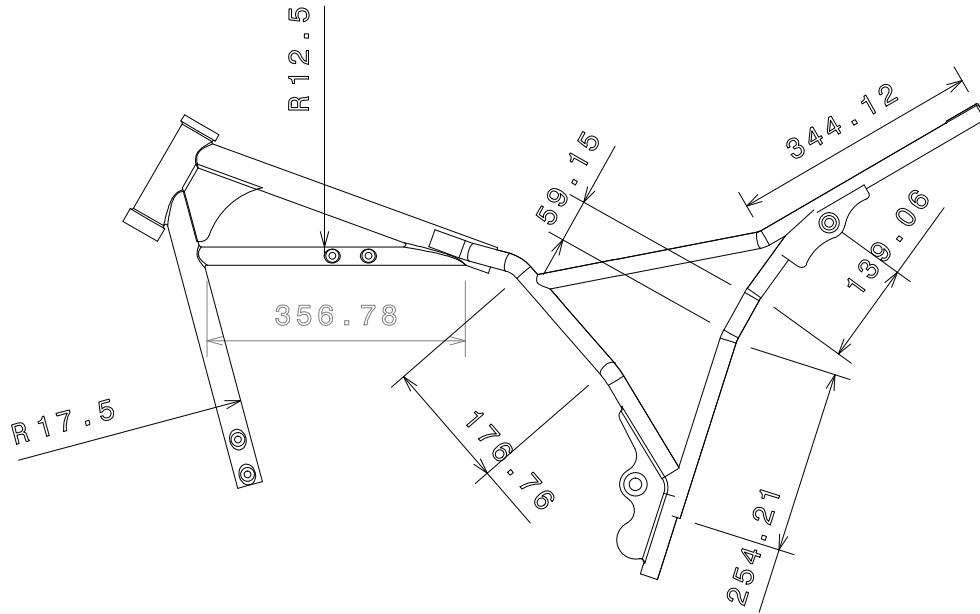
PROYECTO:

**DISEÑO Y ESTUDIO DE MODIFICACIÓN DE CHASIS
Y BASCULANTE DE UNA MOTOCICLETA**

REALIZADO:

LARRAURI GARCÍA, ASIER

FIRMA:



SAE	1010
NORMA	MATERIAL
TOLERANCIAS GENERALES UNE EN 22768	



Universidad Pública
de Navarra
Nafarroako
Unibertsitate Publikoa

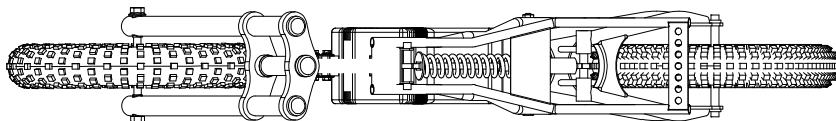
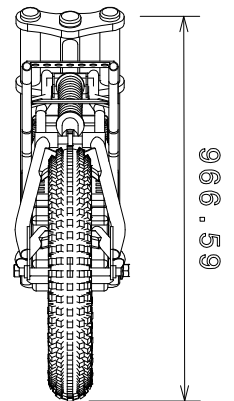
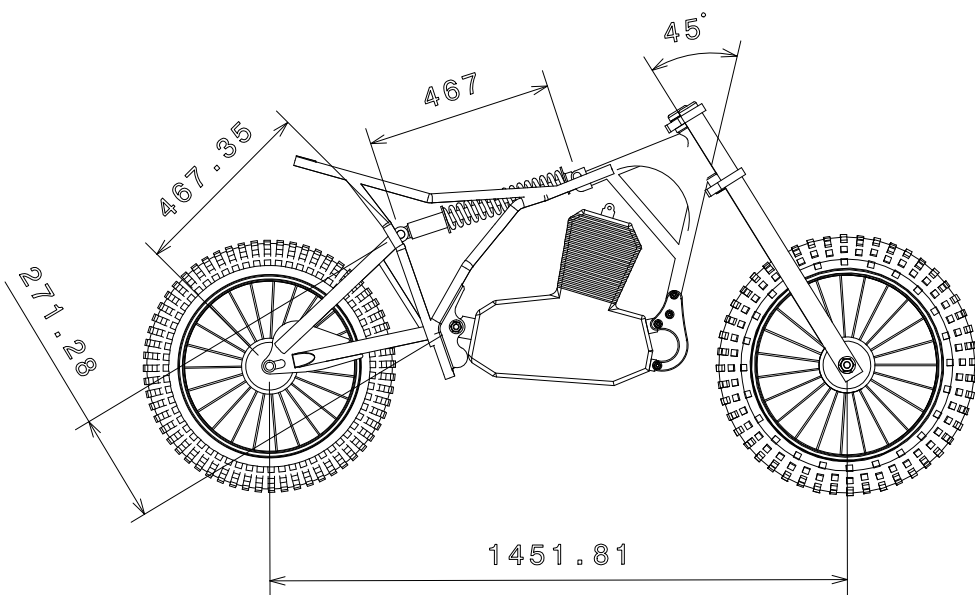
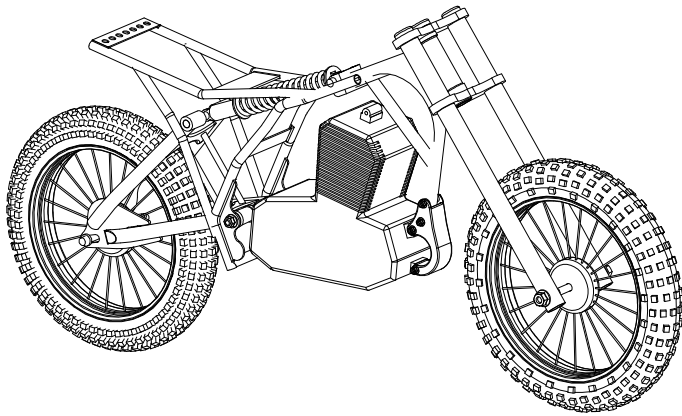
E.T.S.I.I.T.
**INGENIERO TÉCNICO
INDUSTRIAL M.**

DEPARTAMENTO:
**PROYECTOS E
ING. RURAL**

PROYECTO:
**DISEÑO Y ESTUDIO DE MODIFICACIÓN DE CHASIS
Y BASCULANTE DE UNA MOTOCICLETA**

REALIZADO:
LARRAURI GARCÍA, ASIER

FIRMA:



Universidad Pública
de Navarra
Nafarroako
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T.
INGENIERO TÉCNICO
INDUSTRIAL M.

DEPARTAMENTO:
PROYECTOS E
ING. RURAL

PROYECTO:

**DISEÑO Y ESTUDIO DE MODIFICACIÓN DE CHASIS
Y BASCULANTE DE UNA MOTOCICLETA**

REALIZADO:

LARRAURI GARCÍA, ASIER

FIRMA:

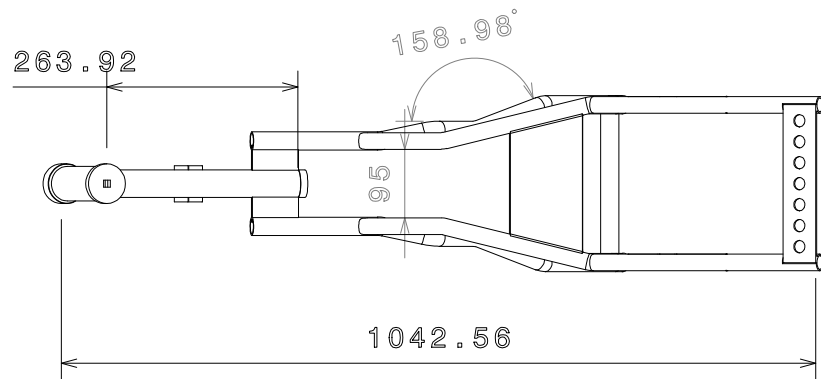
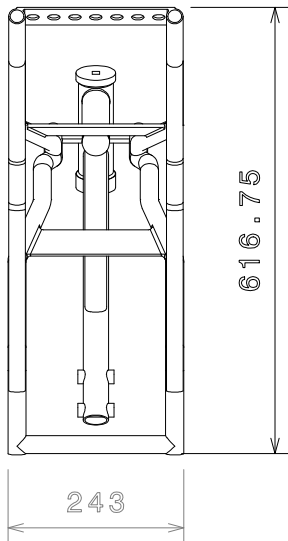
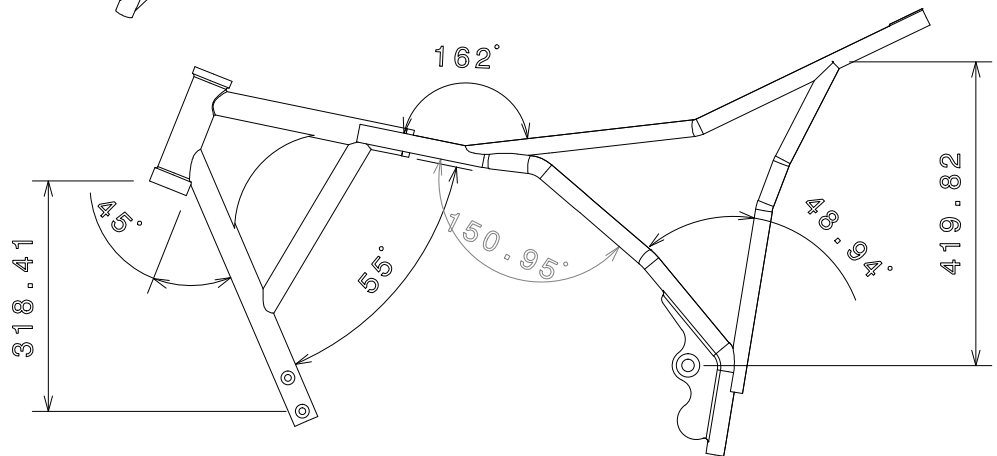
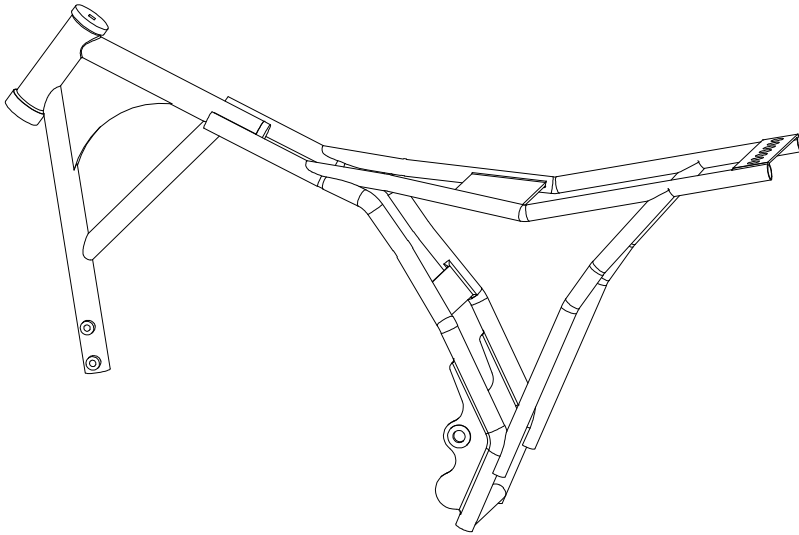


PLANO DE CONJUNTO MOTO MODIFICADA

FECHA:
06/09/2012

ESCALA:
1:20

NºPLANO:
4



SAE	1010
NORMA	MATERIAL
TOLERANCIAS GENERALES UNE EN 22768	



Universidad Pública
de Navarra
Nafarroako
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T.
INGENIERO TÉCNICO
INDUSTRIAL M.

DEPARTAMENTO:
PROYECTOS E
ING. RURAL

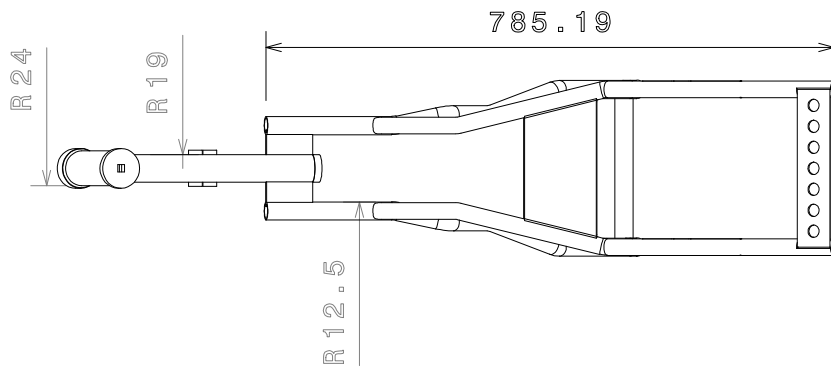
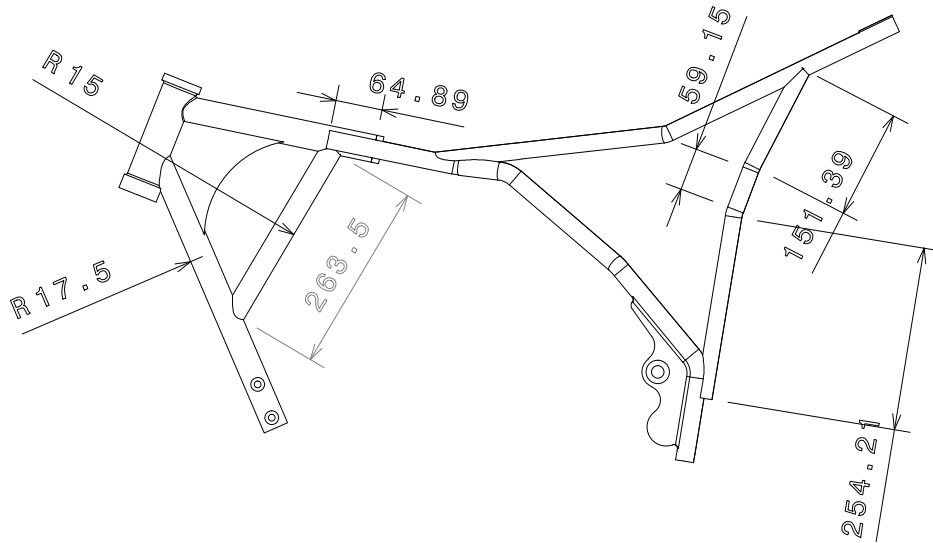
PROYECTO:

**DISEÑO Y ESTUDIO DE MODIFICACIÓN DE CHASIS
Y BASCULANTE DE UNA MOTOCICLETA**

REALIZADO:

LARRAURI GARCÍA, ASIER

FIRMA:



SAE	1010
NORMA	MATERIAL
TOLERANCIAS GENERALES UNE EN 22768	



Universidad Pública
de Navarra
Nafarroako
Unibertsitate Publikoa

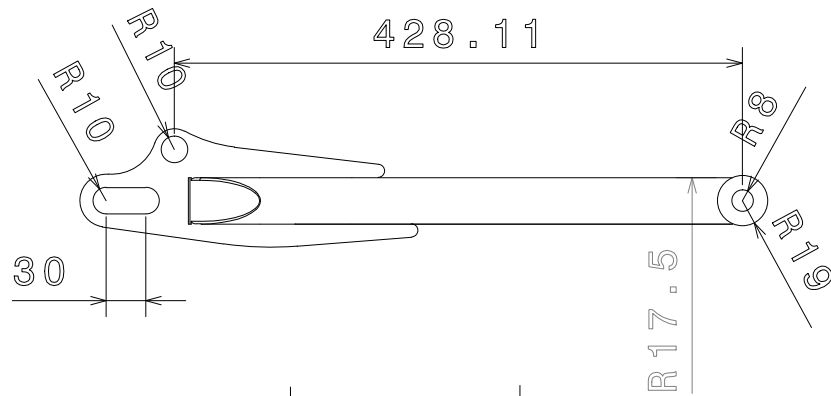
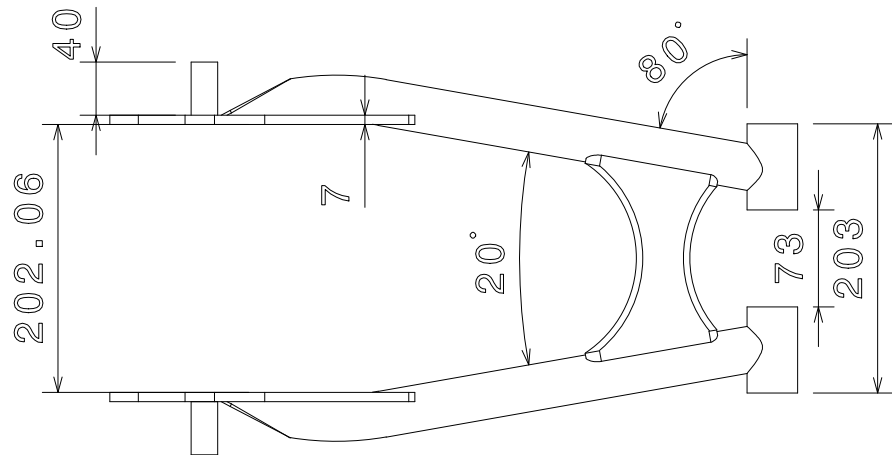
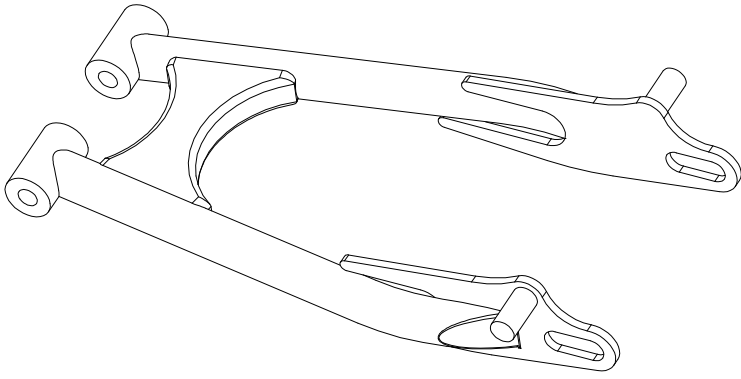
E.T.S.I.I.T.
**INGENIERO TÉCNICO
INDUSTRIAL M.**

DEPARTAMENTO:
**PROYECTOS E
ING. RURAL**

PROYECTO:
**DISEÑO Y ESTUDIO DE MODIFICACIÓN DE CHASIS
Y BASCULANTE DE UNA MOTOCICLETA**

REALIZADO:
LARRAURI GARCÍA, ASIER

FIRMA:



SAE	1010
NORMA	MATERIAL
TOLERANCIAS GENERALES UNE EN 22768	



Universidad Pública
de Navarra
Nafarroako
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T.
**INGENIERO TÉCNICO
INDUSTRIAL M.**

DEPARTAMENTO:
**PROYECTOS E
ING. RURAL**

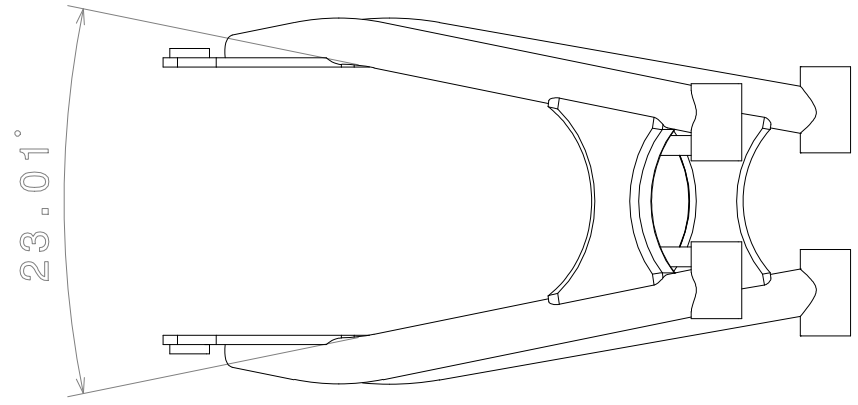
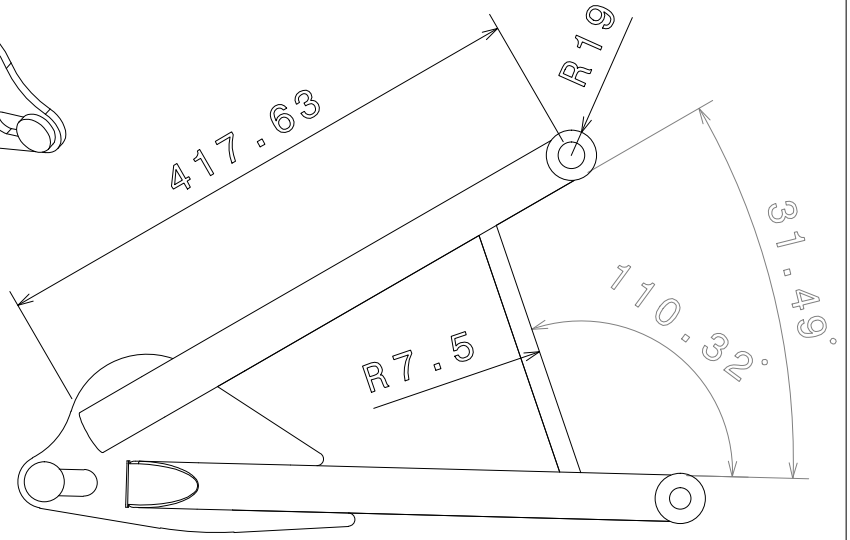
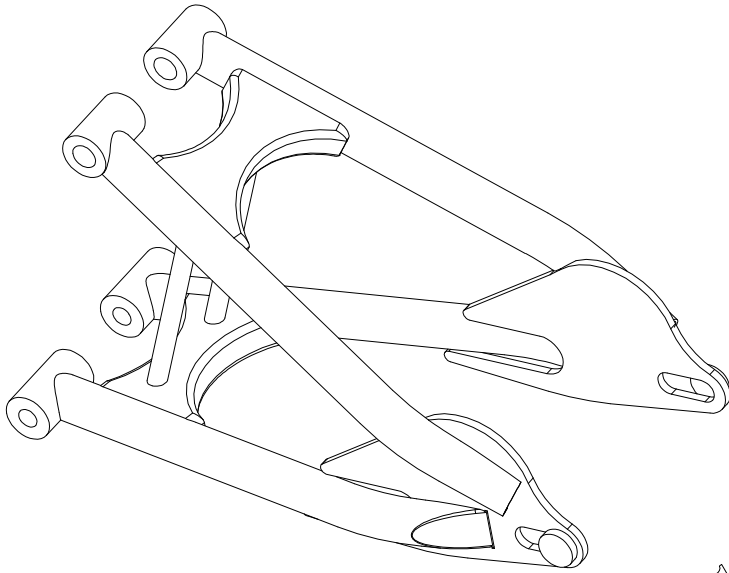
PROYECTO:

**DISEÑO Y ESTUDIO DE MODIFICACIÓN DE CHASIS
Y BASCULANTE DE UNA MOTOCICLETA**

REALIZADO:

LARRAURI GARCÍA, ASIER

FIRMA:



SAE	1010
NORMA	MATERIAL
TOLERANCIAS GENERALES UNE EN 22768	



Universidad Pública
de Navarra
Nafarroako
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T.
**INGENIERO TÉCNICO
INDUSTRIAL M.**

DEPARTAMENTO:
**PROYECTOS E
ING. RURAL**

PROYECTO:
**DISEÑO Y ESTUDIO DE MODIFICACIÓN DE CHASIS
Y BASCULANTE DE UNA MOTOCICLETA**

REALIZADO:
LARRAURI GARCÍA, ASIER

FIRMA: